

**"GUIDE de CRITICITE, PART III" (IN FRENCH) CEA-R3114, COMMISSARIAT A
L'ENERGIE ATOMIQUE, SACLAY (1967).**

GUIDE DE CRITICITÉ

III - Courbes

Rapport CEA - R 3114

1967
La*

CENTRE D'ÉTUDES
NUCLÉAIRES DE SACLAY

RAPPORT CEA-R 3114

COMMISSION DE SURETÉ DES INSTALLATIONS ATOMIQUES

SOUS-COMMISSION DES MASSES CRITIQUES

GUIDE DE CRITICITÉ

III. — COURBES

Rédigé par un groupe d'ingénieurs

JUILLET 1967

INTRODUCTION A LA 3^e PARTIE

On trouvera dans cette troisième partie du guide de criticité des valeurs de masses et géométries critiques pour du plutonium et de l'uranium à divers enrichissements en Uranium 235, ainsi que la plupart des données numériques nécessaires aux calculs usuels de criticité.

Les valeurs indiquées résultent de la compilation de nombreux documents étrangers et d'études théoriques et expérimentales effectuées en France

Un grand nombre d'informations ont été obtenues par le calcul, en particulier dans les domaines des faibles modérations et des bas enrichissements pour lesquels le nombre de points expérimentaux est très restreint.

Bien que, chaque fois qu'il apparaissait des écarts entre les différents résultats de calculs, on ait retenu les valeurs les plus restrictives, il reste encore des incertitudes.

A cette occasion il est souligné à nouveau que si le guide doit permettre d'orienter des études préliminaires il ne peut remplacer un spécialiste au stade des études définitives.

P. LÉCORCHÉ

C.E.N. Saclay, Novembre 1967

TROISIÈME PARTIE

C O U R B E S

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

- I — FORMULAIRE**
- II — TABLEAUX DE VALEURS MINIMALES**
- III — NORMES**
- IV — COURBES DES ANNEXES**
- V — COMPLEMENTS**

I - Formulaire

1 - Définition fondamentale.

$$K = K_{\text{eff.}} = K_{\text{ac.}} \cdot P = \eta \epsilon p.f. P$$

2 • Coefficients de sécurité recommandés (incertitudes de mesure non comprises)

Paramètre →	MASSÉ		Volume	Diamètre	Epaisseur	Concentration (en sécurité totale)
	Double chargement possible	impossible				
α Hétérogénéité continue (C2) possible	0,43	0,7	0,75	0,85	0,75	0,85
$\alpha_{\text{max.}}$ Hétérogénéité continue impossible	0,43	0,85	0,85	0,9	0,85	

3 - Angles solides limites

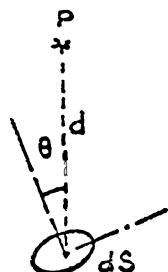
FRACTIONNELS

$$\text{Semi-réflexion} \Omega_i = \frac{1 - k_{\text{nu}}}{2}$$

$$\text{Réflexion totale} \Omega_i = 1 - k_{\text{réfl.}}$$

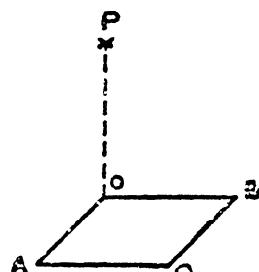
$$\text{STÉRADIANS : } \Omega_i (\text{Sd}) = 4 \pi \cdot \Omega_i \text{ (comparaison avec } \Omega_{\text{max.}} \text{ seulement)}$$

4 - Angles solides géométriques (en stéradians)



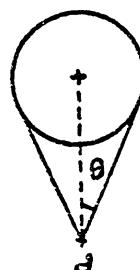
$$d\Omega = \frac{dS \cdot \cos \theta}{d^2}$$

ELEMENT
DE SURFACE



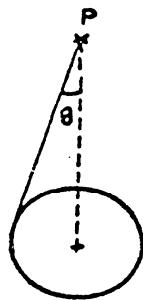
$$\text{Arc tg} \frac{\text{OA} \cdot \text{OB}}{\text{PO} \cdot \text{PQ}} = \Omega = \text{Arc} \sin \frac{\text{OA} \cdot \text{OB}}{\text{PA} \cdot \text{PB}}$$

RECTANGLE

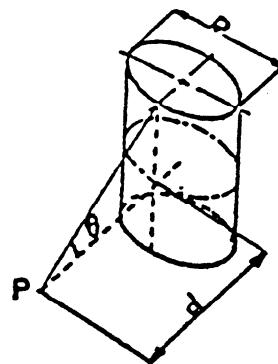


$$\Omega = 2 \pi (1 - \cos \theta)$$

SPHÈRE



DISQUE



$$\Omega = \frac{2D}{d} \cdot \sin \theta$$

CYLINDRE

5 - Critères d'angles solides

CONDITION PRÉALABLE : distances bord à bord supérieures ou égales à 30 cm.

Critère normal :

$$\sum_j \frac{j \rightarrow i}{\Omega_{\max.}} \leq \Omega^i \quad \text{ou} \quad \sum_j \frac{j \rightarrow i}{\Omega_{\max.}} \leq \Omega^i (Sd)$$

Variantes de $\frac{\Omega_{\max.}}{4\pi}$

$$\frac{j \rightarrow i}{2\pi} \cdot \left(\frac{S+}{S} \right)_{j \rightarrow i} \quad \frac{j \rightarrow i}{4\pi} \cdot (1 - p_j) \quad \frac{j \rightarrow i}{2\pi} \cdot \left(\frac{S+}{S} \right)_{j \rightarrow i} \cdot (1 - p_j)$$

$$\frac{-j \rightarrow i}{2\pi} \quad \frac{-j \rightarrow i}{\Omega} \cdot (1 - p_j)$$

(attention : restrictions dans l'usage de Ω)

6 - Calcul d'angles solides géométriques vers une masse en sécurité totale

On l'assimile à la sphère suivante :

$$V = 0,32 M (\epsilon + 1) \quad \text{ou} \quad D = 0,85 \sqrt[3]{M (\epsilon + 1)}$$

V : volume de la sphère en cm^3

D : diamètre de la sphère en cm

M : masse d'uranium ou de plutonium total en g

ϵ : enrichissement en % d'isotope fissile.

7 • Correction de densité

$$\text{Au même H / X : } \frac{L_{\text{réelle}}}{L_{\text{standard}}} = \left(\frac{Cst}{Cr} \right)^n$$

L →	Masse	Volume	Diamètre + Epaisseur
n ↗	2	3	1

(applicable seulement si Cr > Cst)

II - Tableaux de valeurs minimales

II - Tableaux de valeurs minimales

Ces tableaux fournissent pour le Plutonium 239 pur et l'Uranium à divers enrichissements en Uranium 235 les valeurs suivantes :

M_{cr} = Masse critique réfléchie	en kilogrammes de plutonium ou uranium total
$M_{sl} = 0,43 M_{cr}$	
$M_{s2} = 0,7 M_{cr}$	
M_{cn} = Masse critique Nue	en litres
V_{cr} = Volume critique réfléchi	
$V_s = 0,75 V_{cr}$	
V_{cn} = Volume critique nu	en centimètres
D_{cr} = Diamètre critique de cylindre réfléchi de hauteur infinie	
$D_s = 0,85 D_{cr}$	
D_{cn} = Diamètre critique de cylindre nu de hauteur infinie	en centimètres
E_{cr} = Epaisseur critique de plaque réfléchie de surface infinie	
$E_s = 0,75 E_{cr}$	
E_{cn} = Epaisseur critique de plaque nue de surface infinie	

ainsi que les valeurs des angles solides limites exprimées en Steradians, correspondant aux valeurs sores indiquées.

Le tableau I concerne les solutions et sels homogènes.

Le tableau II concerne les milieux Metal-eau homogènes.

Le tableau III concerne les milieux Metal-eau hétérogènes.

Le tableau IV donne les valeurs des concentrations critiques (C_c) et des concentrations sûres (C_s) exprimées en g/l valables pour des milieux infinis.

NOTA : Le lecteur voudra bien ne pas tenir compte de la numérotation des tableaux figurant au chapitre II du tome II.

TABLEAU I - SOLUTIONS ET SELS HOMOGENES

	e %	Masses						Volumes						Diamètres				Epaisseurs			
		Mcr	Ms1	Ms2	M cn	Ω1	Ω1 ₂	V cr	V s	V cn	Ω1	D cr	D s	D cn	Ω1	Ecr	Es	Ecn	Ω1		
²³⁹ Pu	100	0,51	0,22	0,35	1,40	2,9	2,3	5,5	4,1	13,8	2	13	11	21	3	4,5	3,4	11	4,3		
²³⁵ U	93,5	0,87	0,37	0,60	1,45	2,3	1,6	6,3	4,7	14	1,9	14	11,9	21,6	2,8	4,5	3,4	12	4,5		
	70	1,16	0,50	0,81	1,95	2,3	1,6	7,1	5,3	14,5	1,8	15	12,7	22,5	2,7	5	3,7	12,5	4,3		
	50	1,75	0,75	1,20	2,90	2,2	1,6	8,2	6,1	16	1,7	16	13,6	23,5	2,5	6	4,5	13	4,1		
	30	3,30	1,40	2,30	5,3	2,2	1,5	10,6	8	I 19	I 1,65	I 20	17	25,5	2,2	7,5	5,6	15	3,9		
P	20	5,60 p	2,40	3,90	8,3	2,2	1,4	12,9	9,6	23	1,55	21	17,8	27,5	2	9	6,7	16,5	3,7		
	10	13	5,60	9,1	20	2,1	1,3	21,5	16	35	1,45	24	20	30,5	1,8	12,3	9	20	3,4		
	5	45	19	31	56	1,9	1,1	52	39	79	1,3	31	26	35	1,5	16	12	24	3		
	4	72	31	50	83	1,8	1	77	57	108	1,2	36	30	40	1,4	18	13	26	2,9		
	3	150	64	105	165	1,7	1	140	105	190	1,1	46	39	49	1,3	23	17	31	2,8		
	2	500	215	350	540	1,6	0,9	450	330	550	1	64	54	66	1,1	33	24	41	2,6		
	1	∞						∞		∞		∞		∞		∞		∞			

TABLEAU II - MILIEUX METAL-EAU HOMOGENES

	e %	Masses						Volumes						Diamètres				Epaisseurs			
		Mcr	Ms1	Ms2	M cn	Ω1 ₁	Ω1 ₂	V cr	V s	V cn	Ω1	D cr	D s	D cn	Ω1	Ecr	Es	Ecn	Ω1		
²³⁹ Pu	100	0,51	0,22	0,35	1,4	2,9	2,3	0,28	0,21	0,53	1,6	4,2	3,5	6	2,6	0,8	0,6	2,8	4,9		
²³⁵ U	93,5	0,87	0,37	0,6	1,45	2,3	1,6	1,2	0,9	2,7	1,9	7,5	6,3	12	3	1,5	1,1	5,6	5		
	70	1,16	0,5	0,81	1,95	2,3	1,6	2,1	1,7	5	1,9	9,5	8	16,5	3,2	2,5	1,9	7,2	4,6		
	50	1,75	0,75	1,2	2,90	2,2	1,6	3,8	2,8	9	1,8	12	10	21,5	3,3	4	3	9,89,8	4,3		
	30	3,30	1,40	2,30	5,3	2,2	1,5	8	6	15,5	1,7	16	13,5	25	3	6	4,5	14,8	4,3		
	20	5,60	2,40	3,90	8,3	2,2	1,4	10,5	7,9	20	1,7	18	15	26	2,6	7	5,2	16	4,2		
	10	13	5,6	9,1	20	2,1	1,3	15	11	30	1,8	20	17	28,5	2,5	9	6,7	17,5	3,8		
	5	35	15	24,5	56	2,1	1,3	25	18,5	48	1,6	24,5	20	34	2,5	11	8,2	220,5	3,7		
	4	55	23,5	38,5	77	2,0	1,2	34	25,5	60	1,5	27,5	23	36	2,2	13	9,7	22	3,5		
	3	110	47	77	130	1,9	1	52,	39	85	1,4	32,5	27	40	2	16	12	25	3,2		
	2	310	133	217	350	1,7	0,9	120	90	160	1,1	44	37	51	1,7	22	116,5	30,5	2,9		
	1	∞												∞							

TABLEAU III - MILIEUX METAL-EAU HETEROGENES

	e %	Masses			Volumes		Diamètres		Epaisseurs	
		M cr	M s1	M s2	V cr	V s	D cr	D s	E cr	E s
²³⁵ U	5	35	15	24,5	19,5	14,5	23	19,5	10,5	7,9
	4	49	21	34	22	16,5	24	20,5	11	8,2
	3	76	32,5	53	29	21,5	26	22	12	9
	2	165	71	115	45	33,5	30	25,5	155	11,5
	1	1570	675	1100	260	195	60	51	32	24

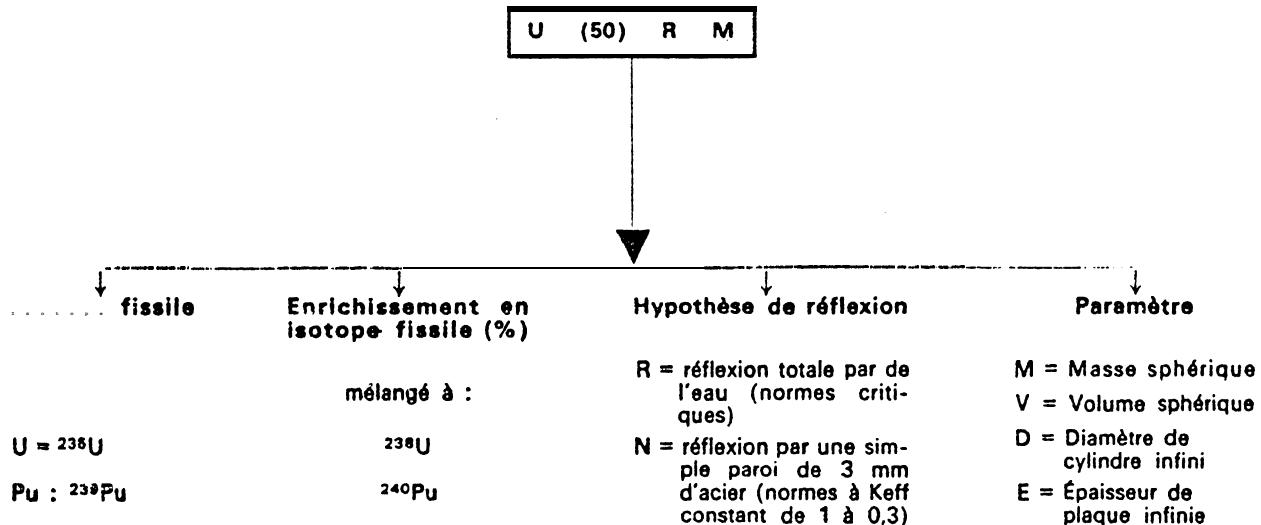
TABLEAU IV - CONCENTRATIONS

	e %	C c	C s
	100	8	6
²³⁹ Pu	93,5	12,7	10,8
	70	16,5	14
	50	23	19,5
	30	40	34
	20	60	51
	10	125	106
	5	260	220
	4	340	288
	3	470	400
	2	800	680
	1	1200	1000

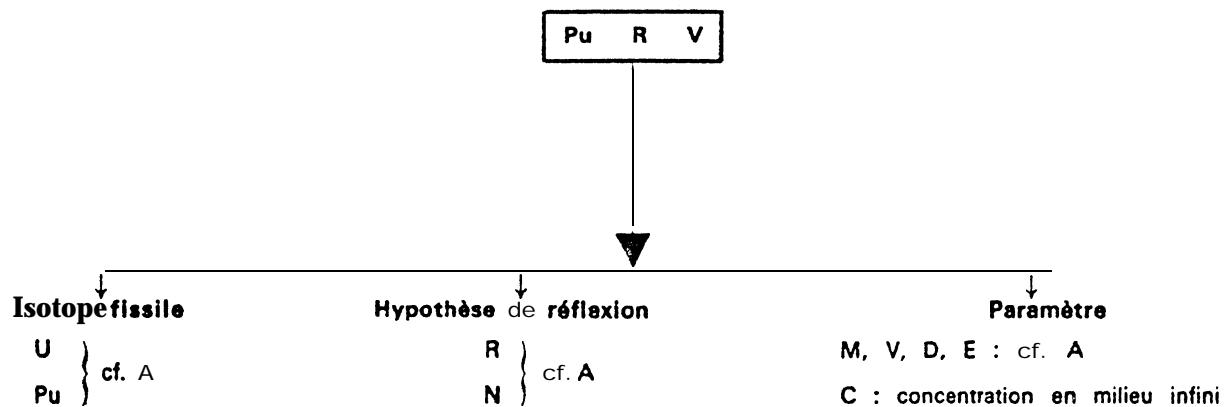
III - Normes

SIGNIFICATION DES SYMBOLES

A - **Valeurs** critiques ou sous-critiques en fonction de la concentration.



B - **Valeurs minimales** critiques ou **sous-critiques** en fonction de l'**enrichissement**



C - Courbes de dilution standard (**concentration en fonction de H/X**)

Symboles : Uds et Puds.

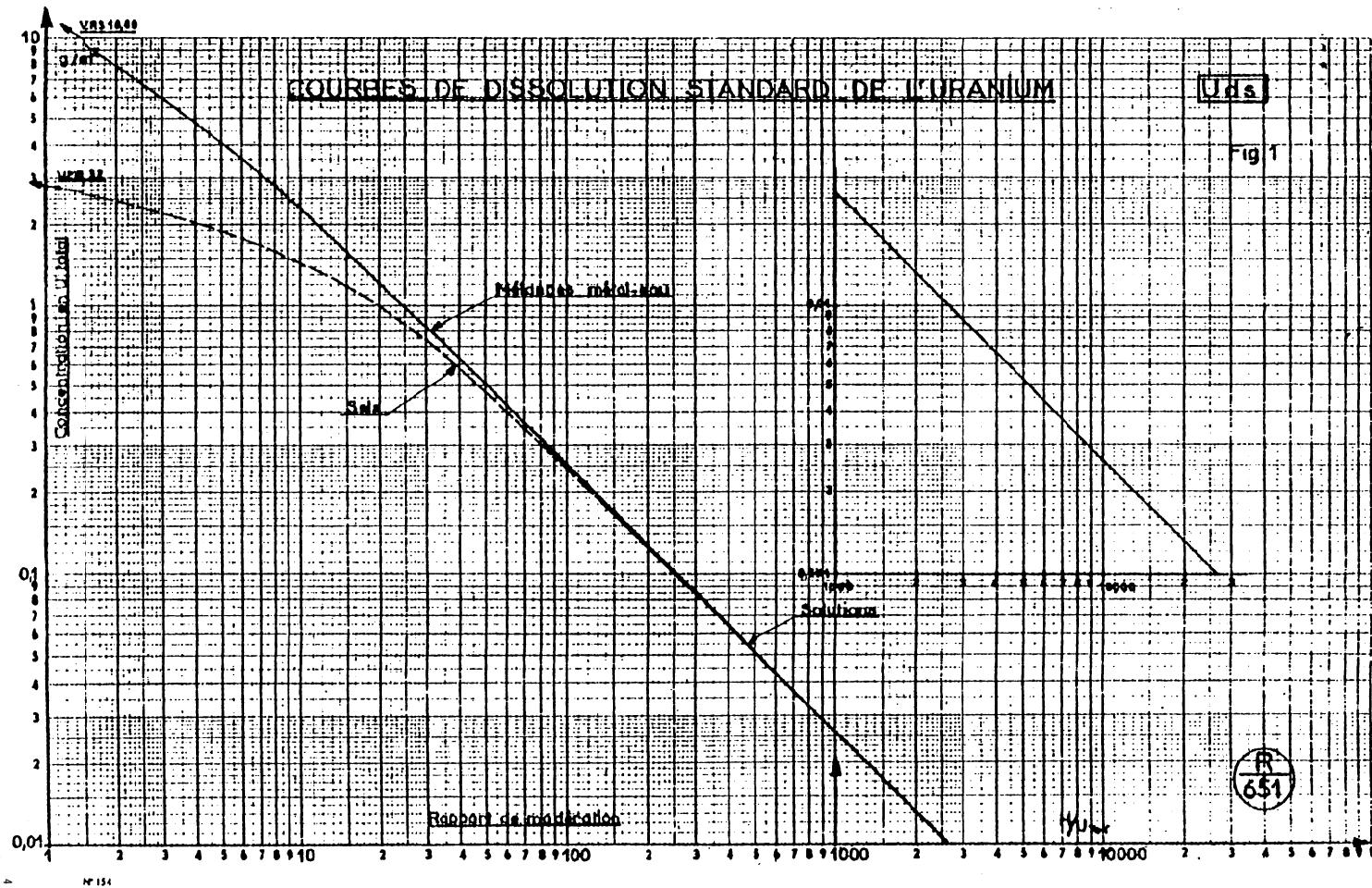
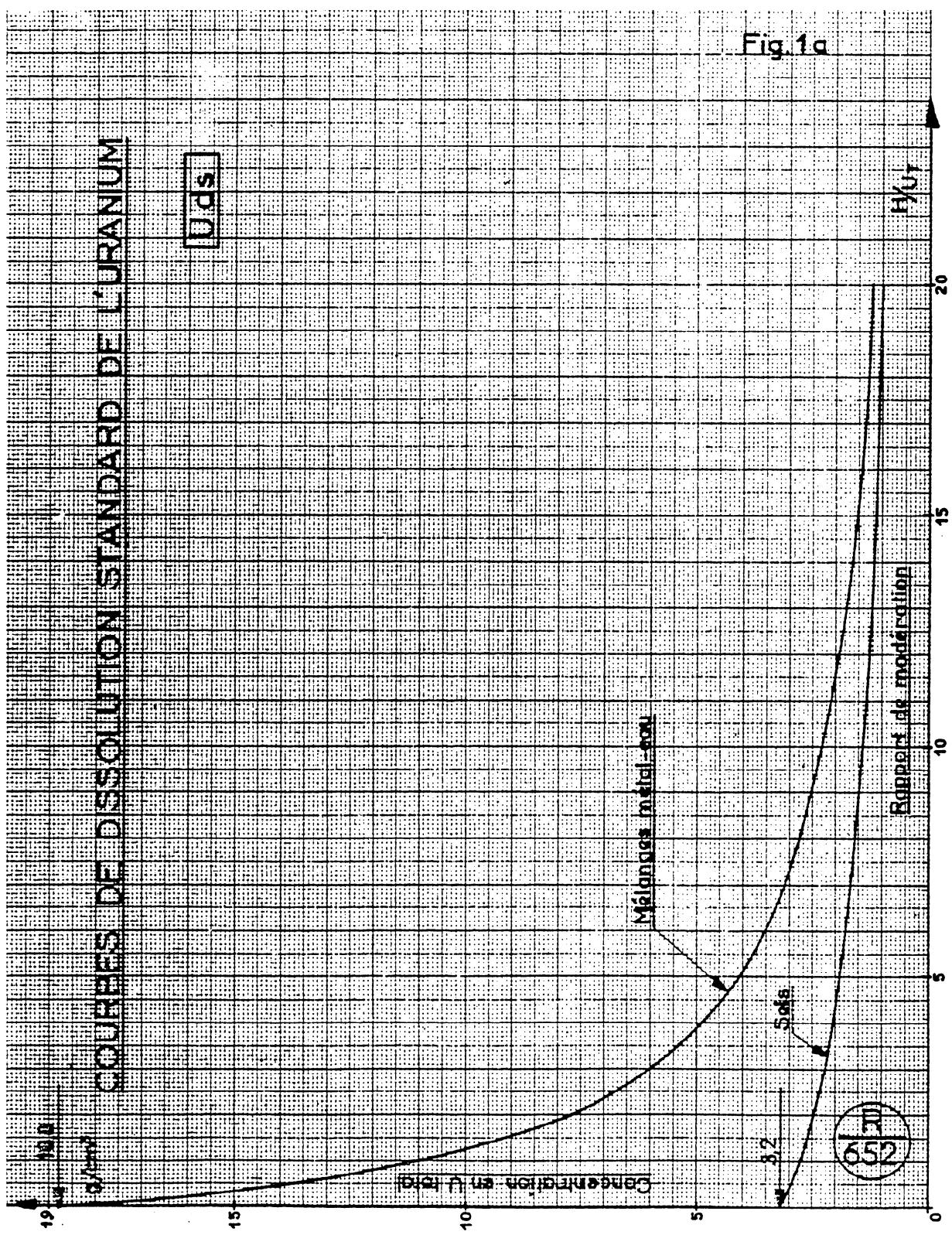


Fig 1a



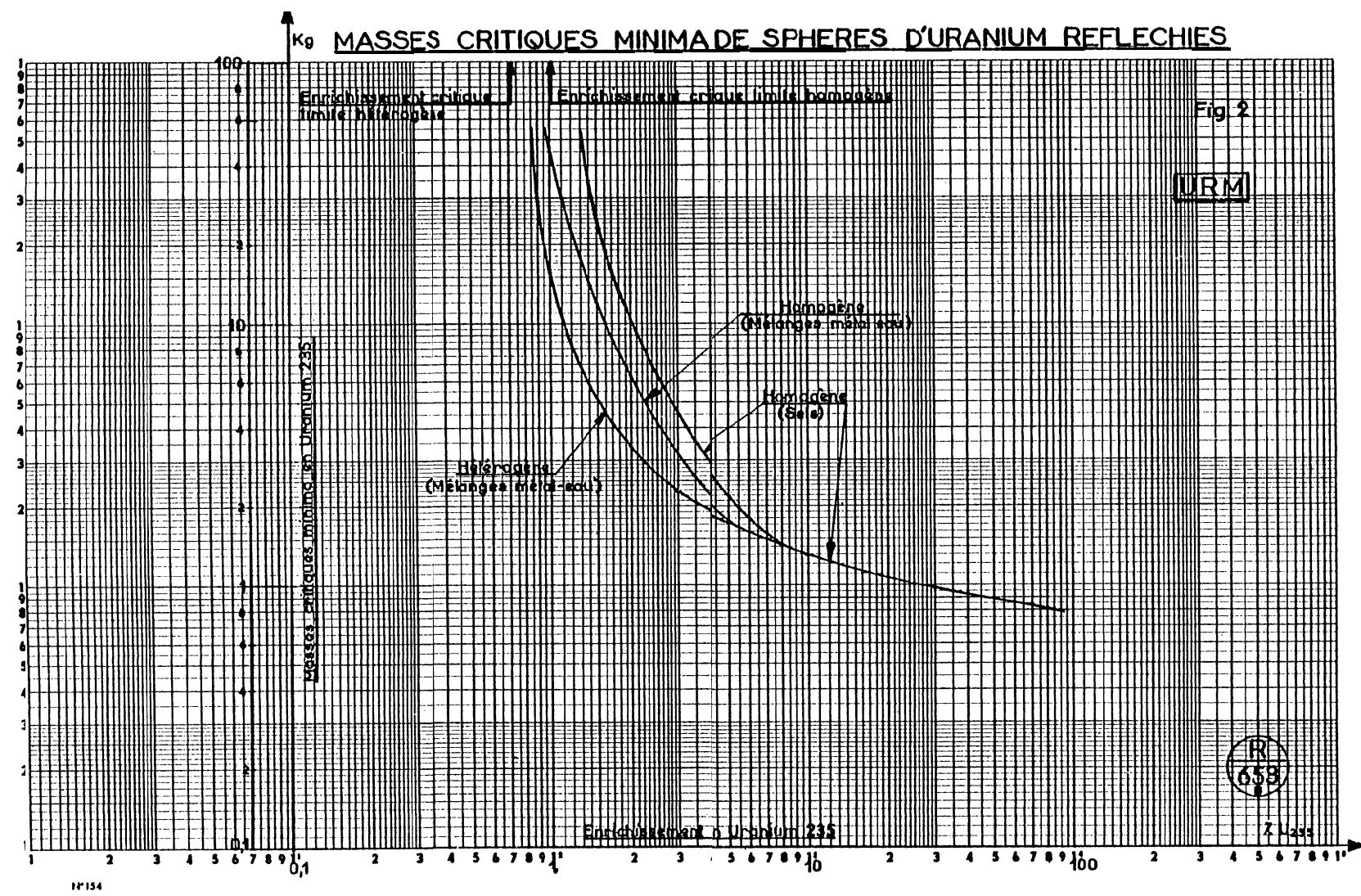
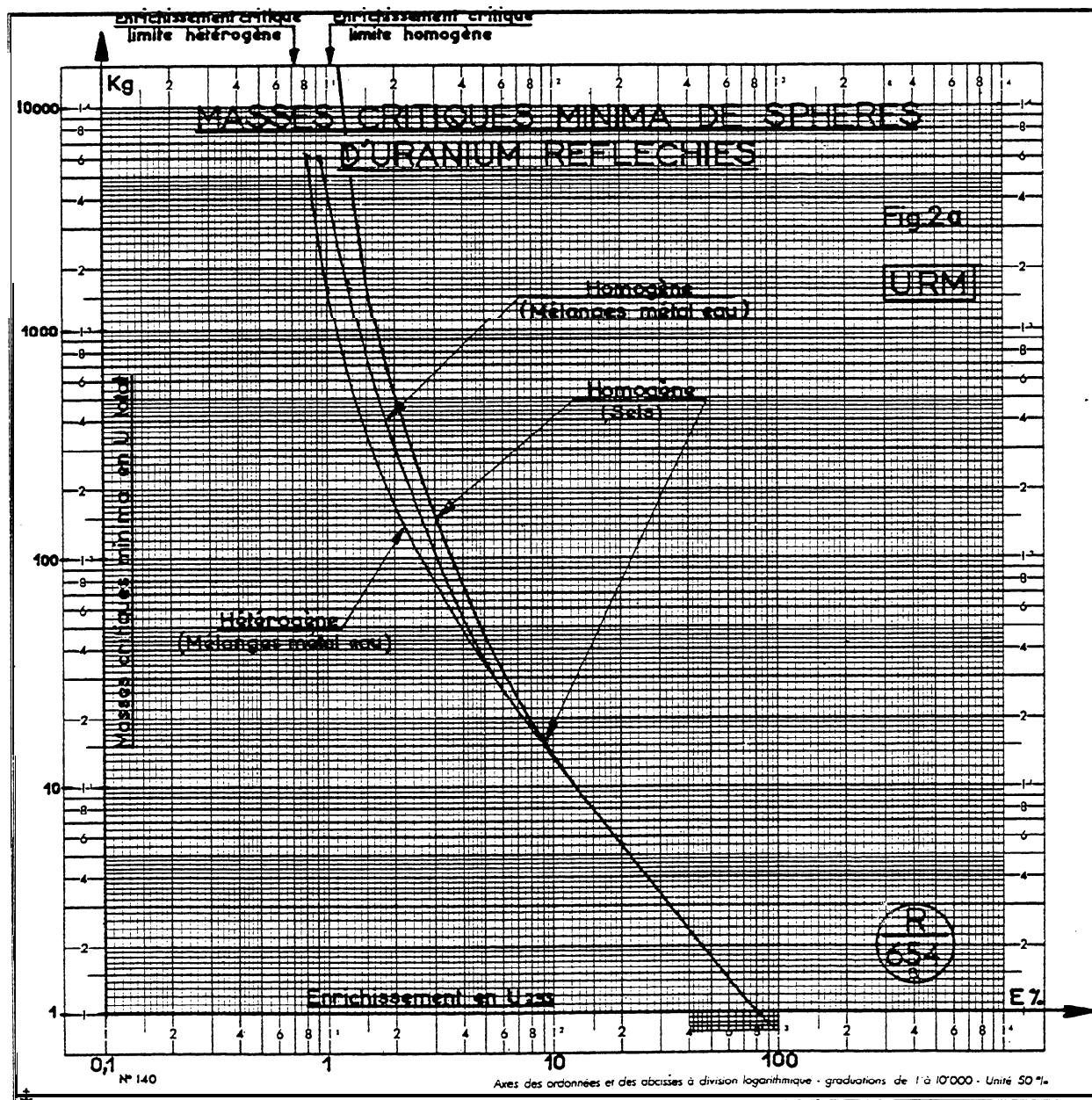
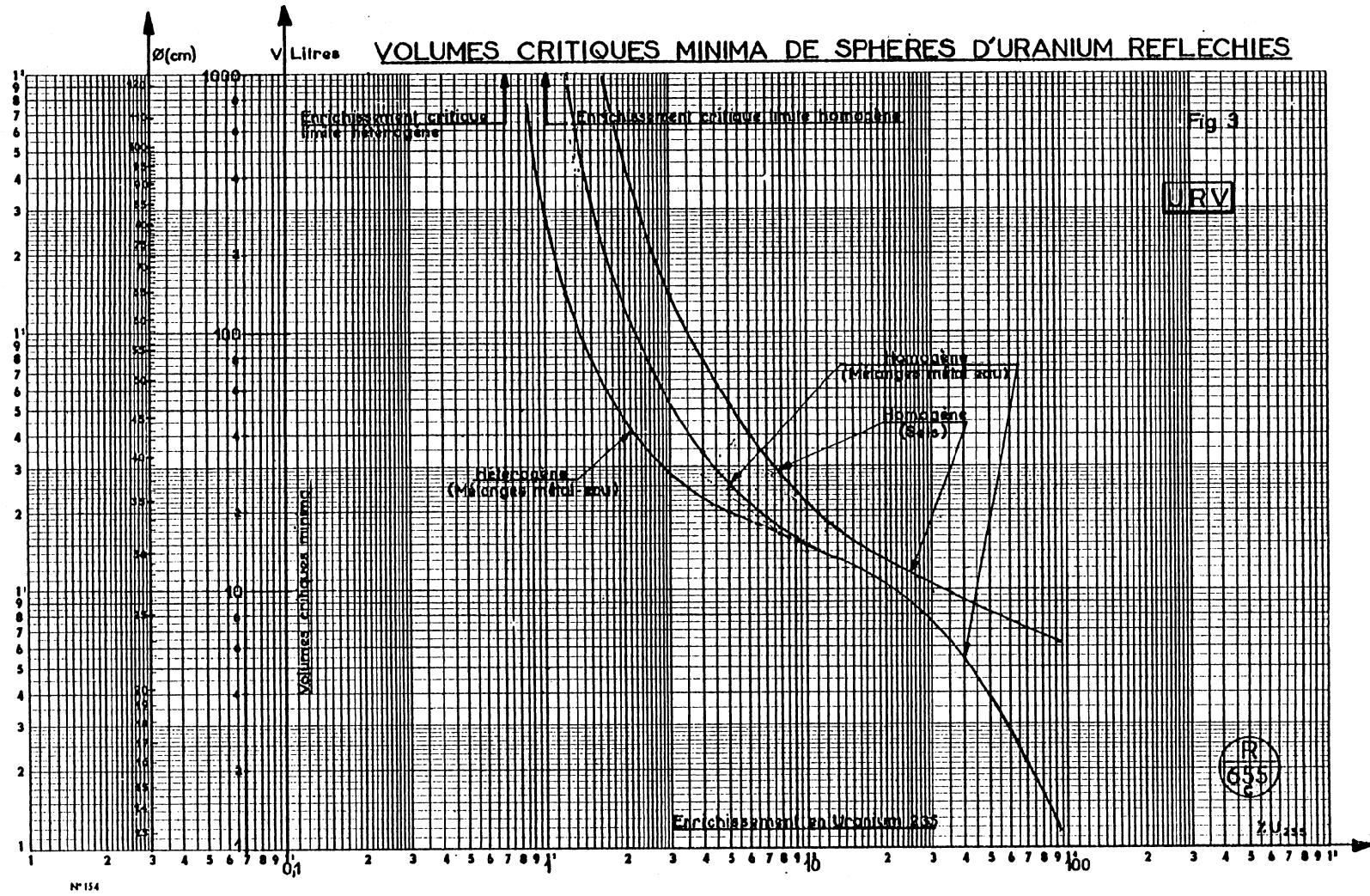


Fig 2

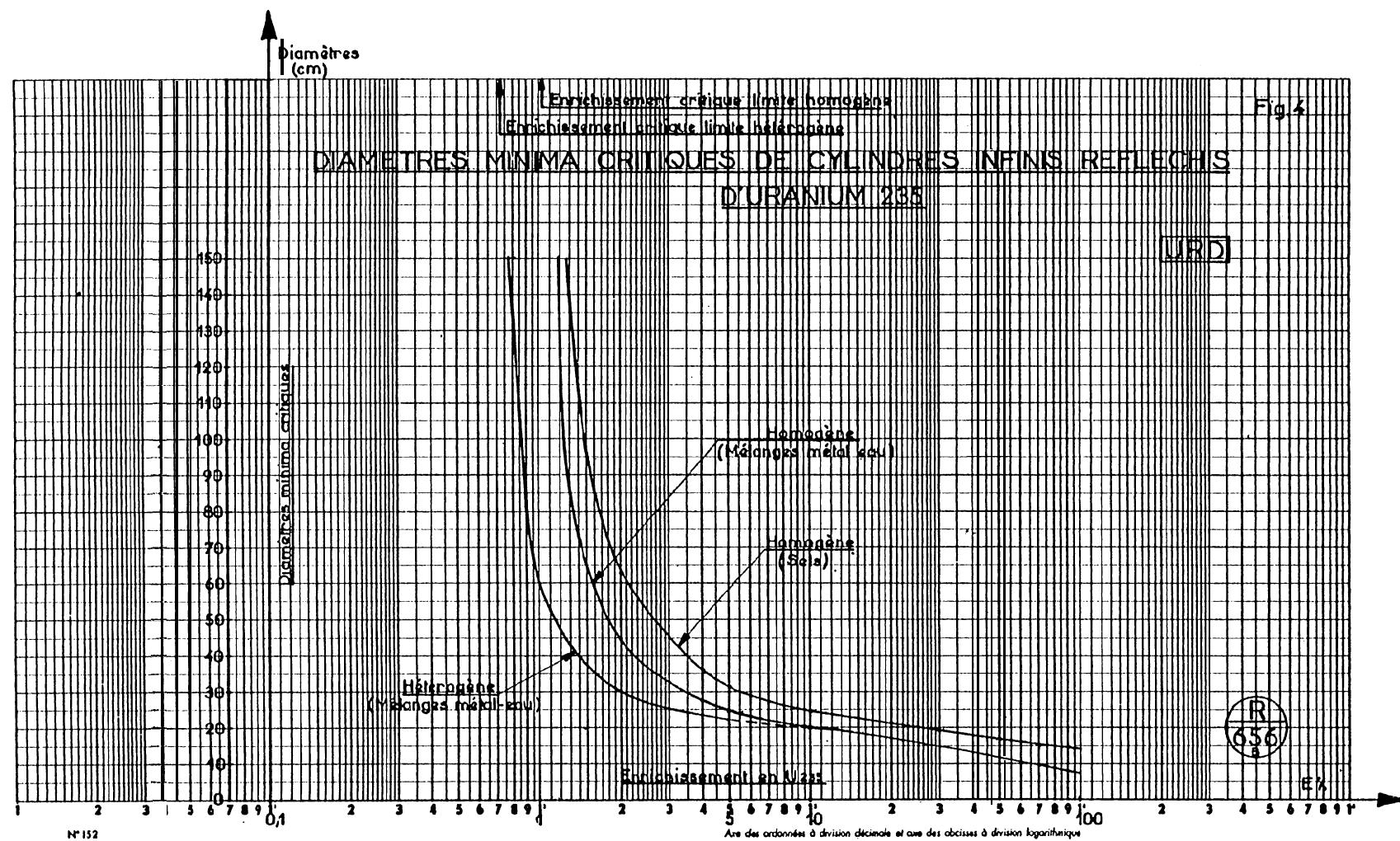




N°154

Fig. 3

Fig. 4



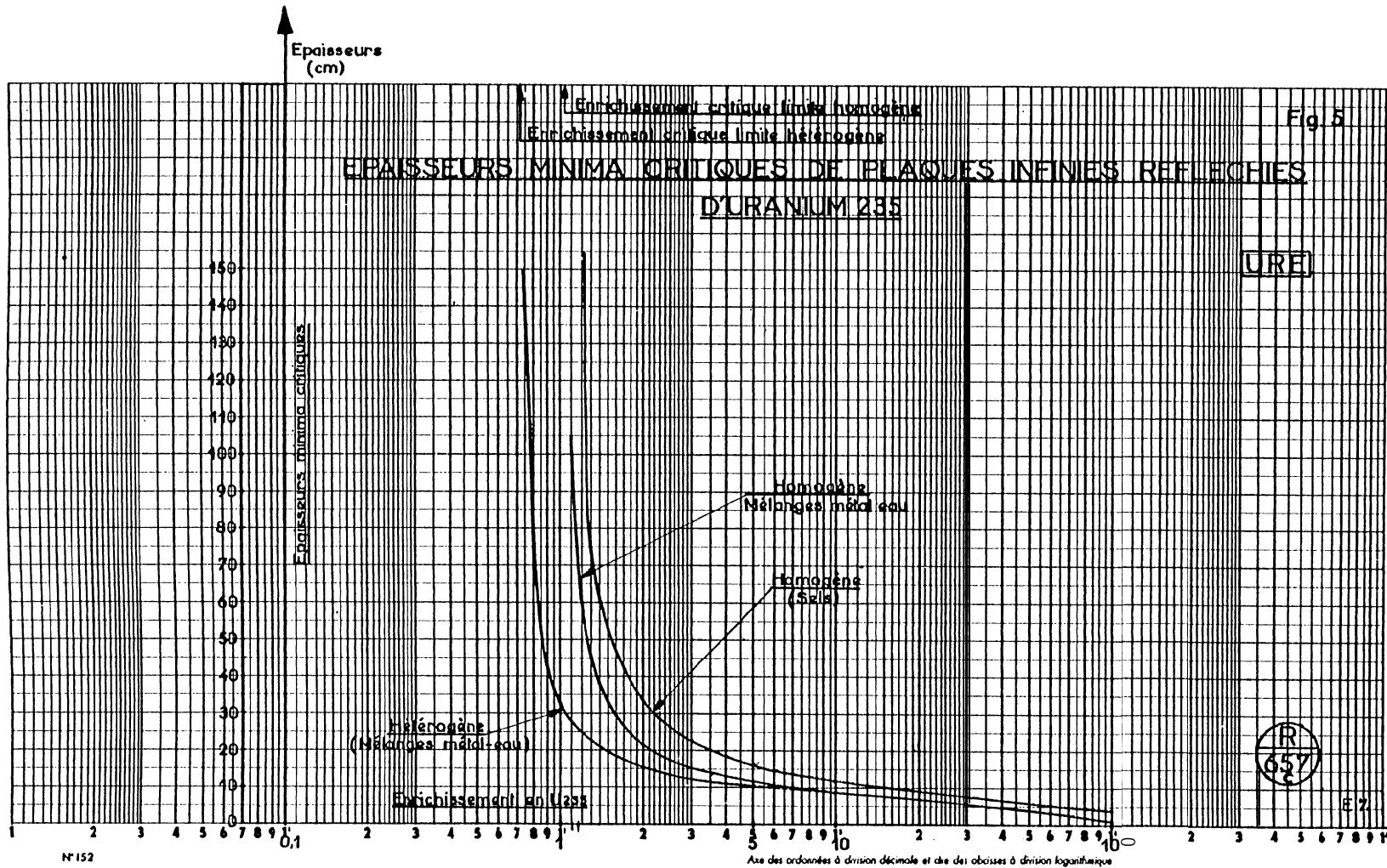


Fig. 6

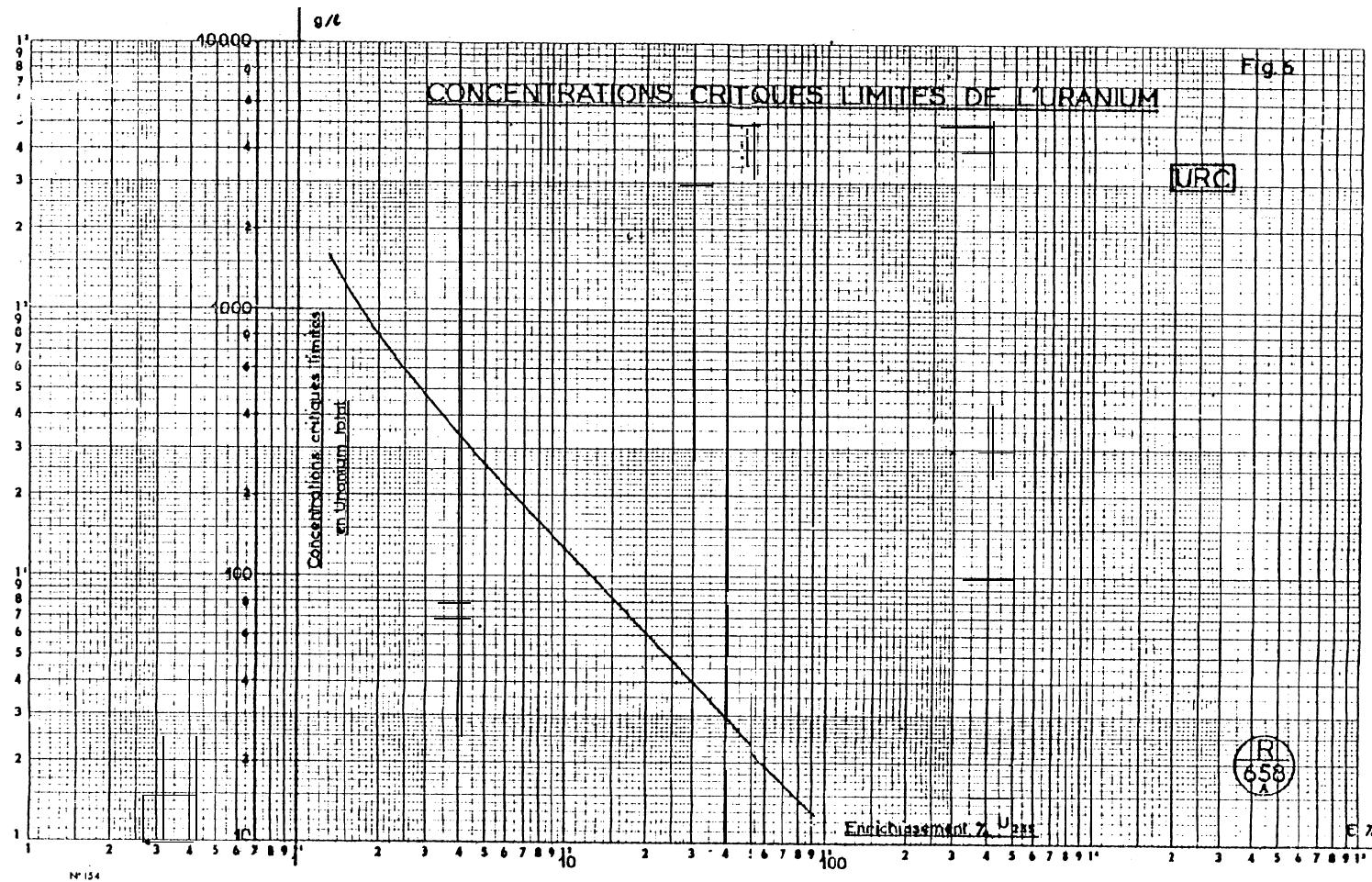
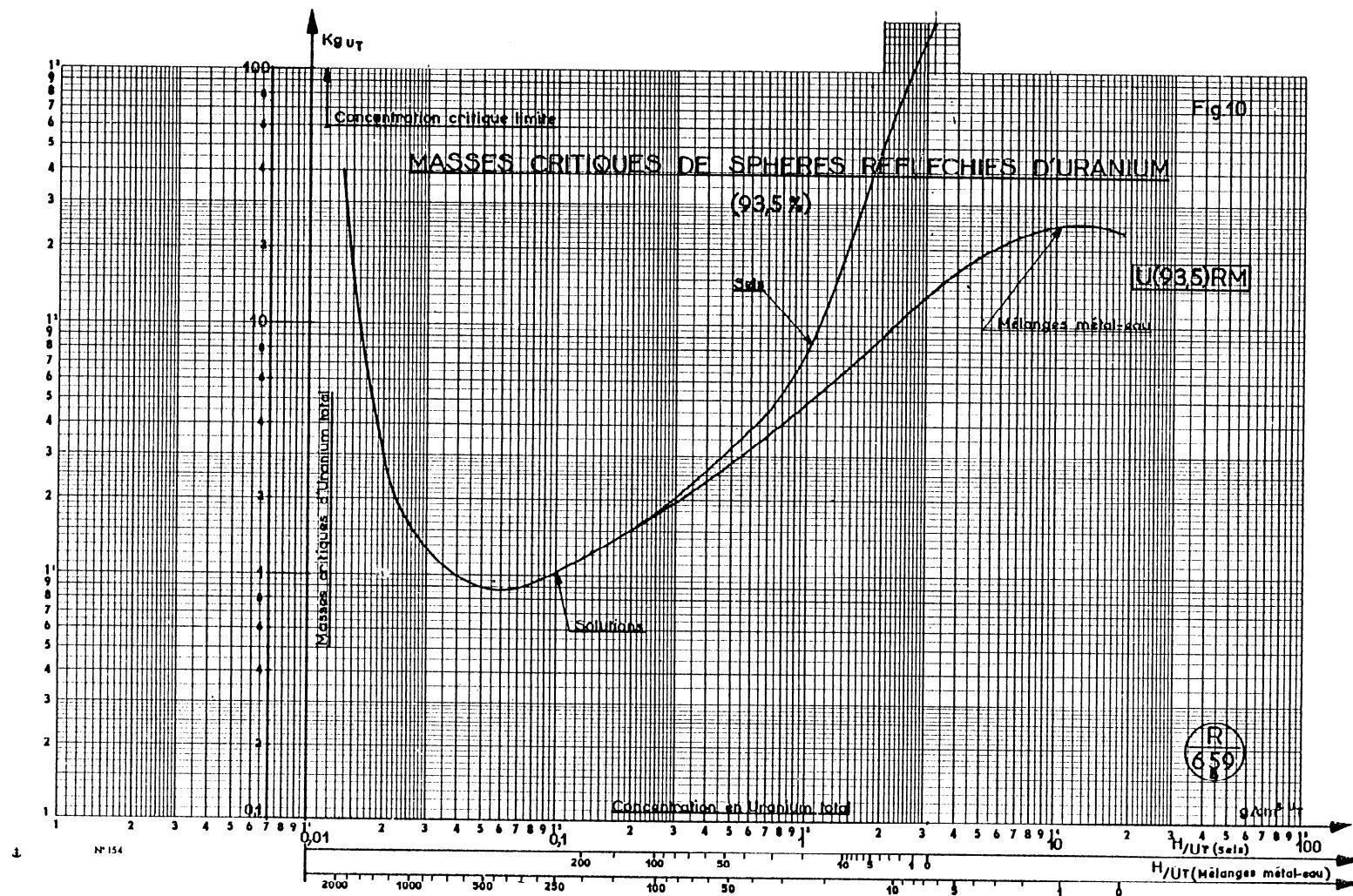


Fig 10



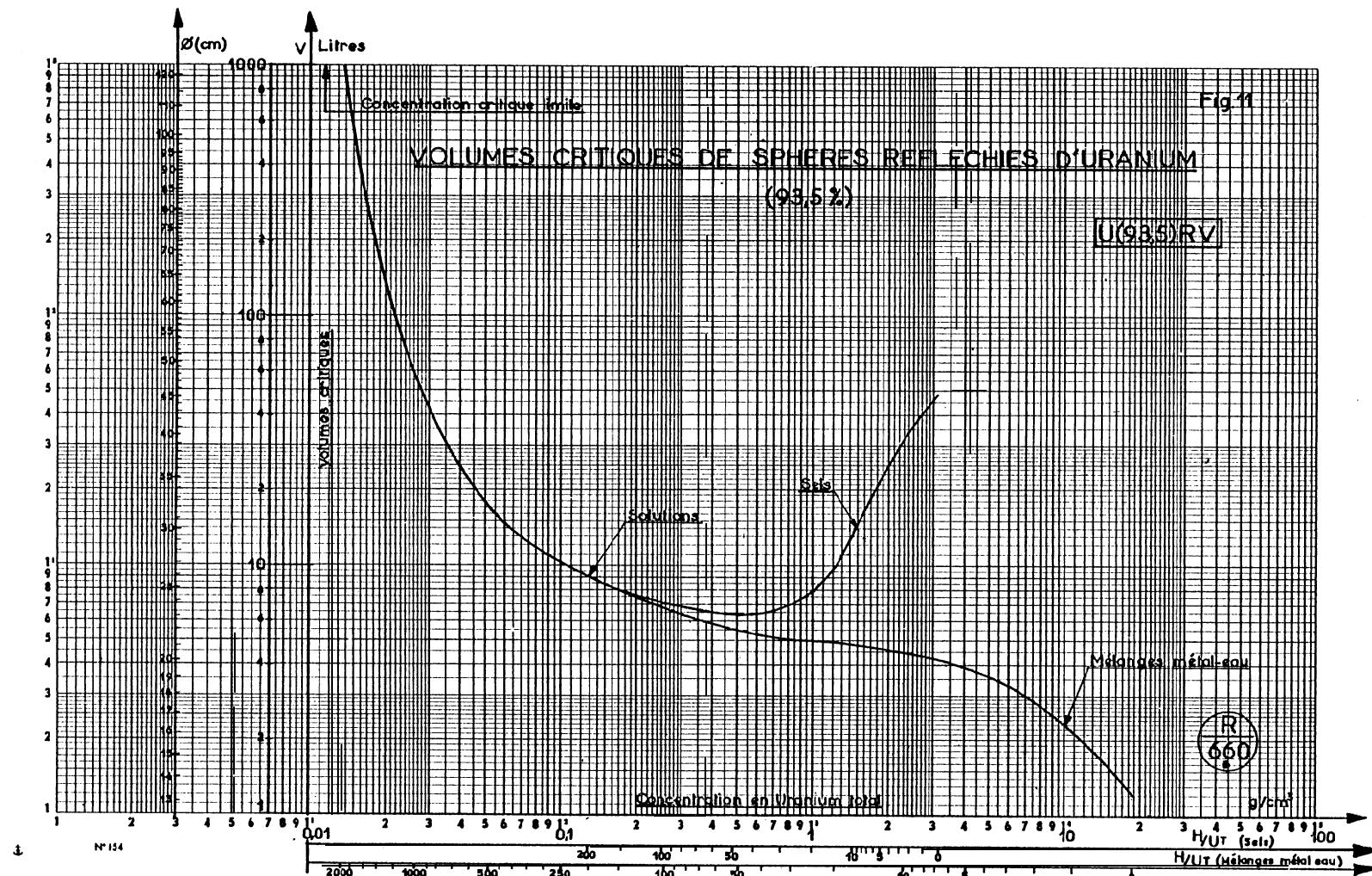


Fig 12

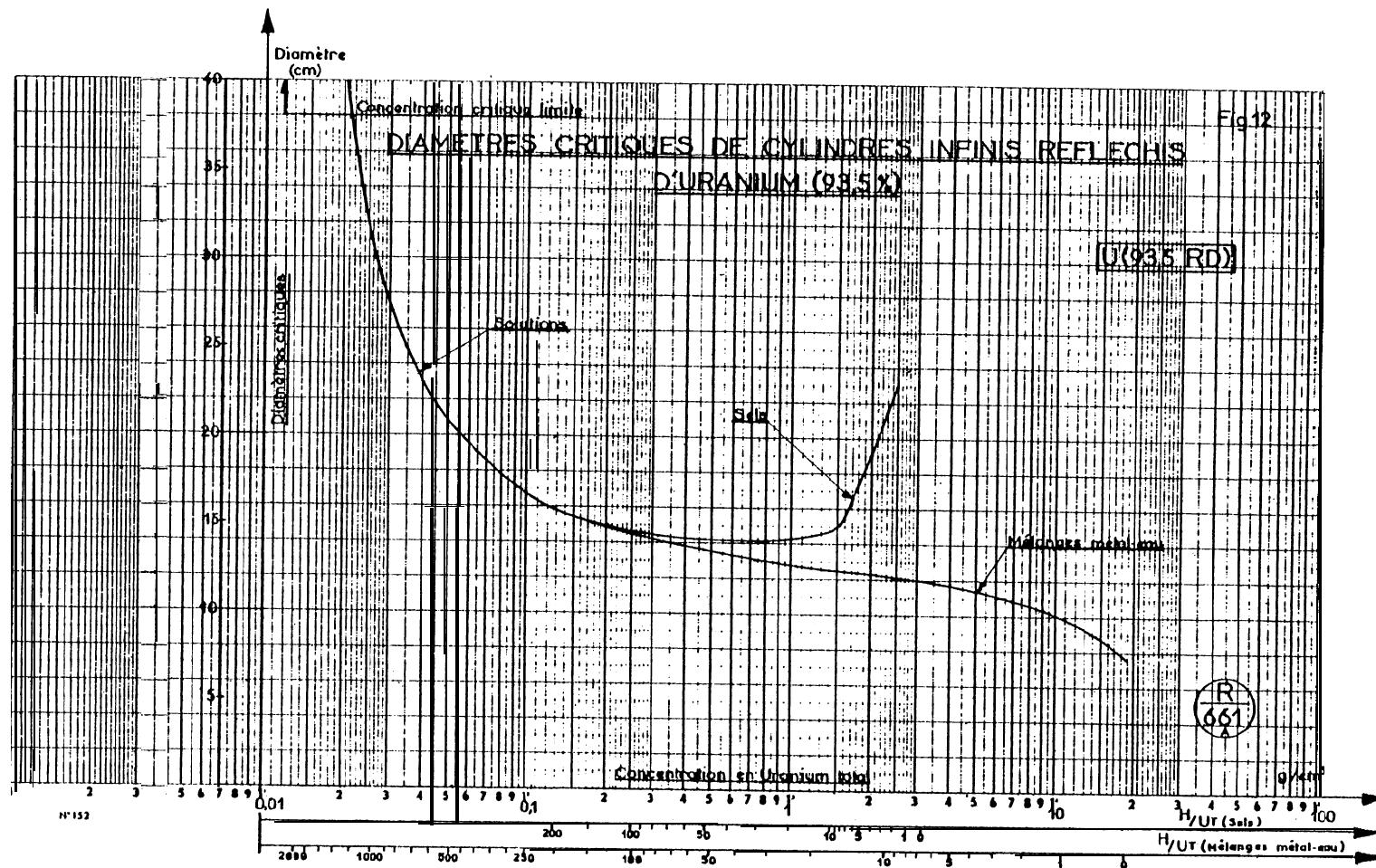
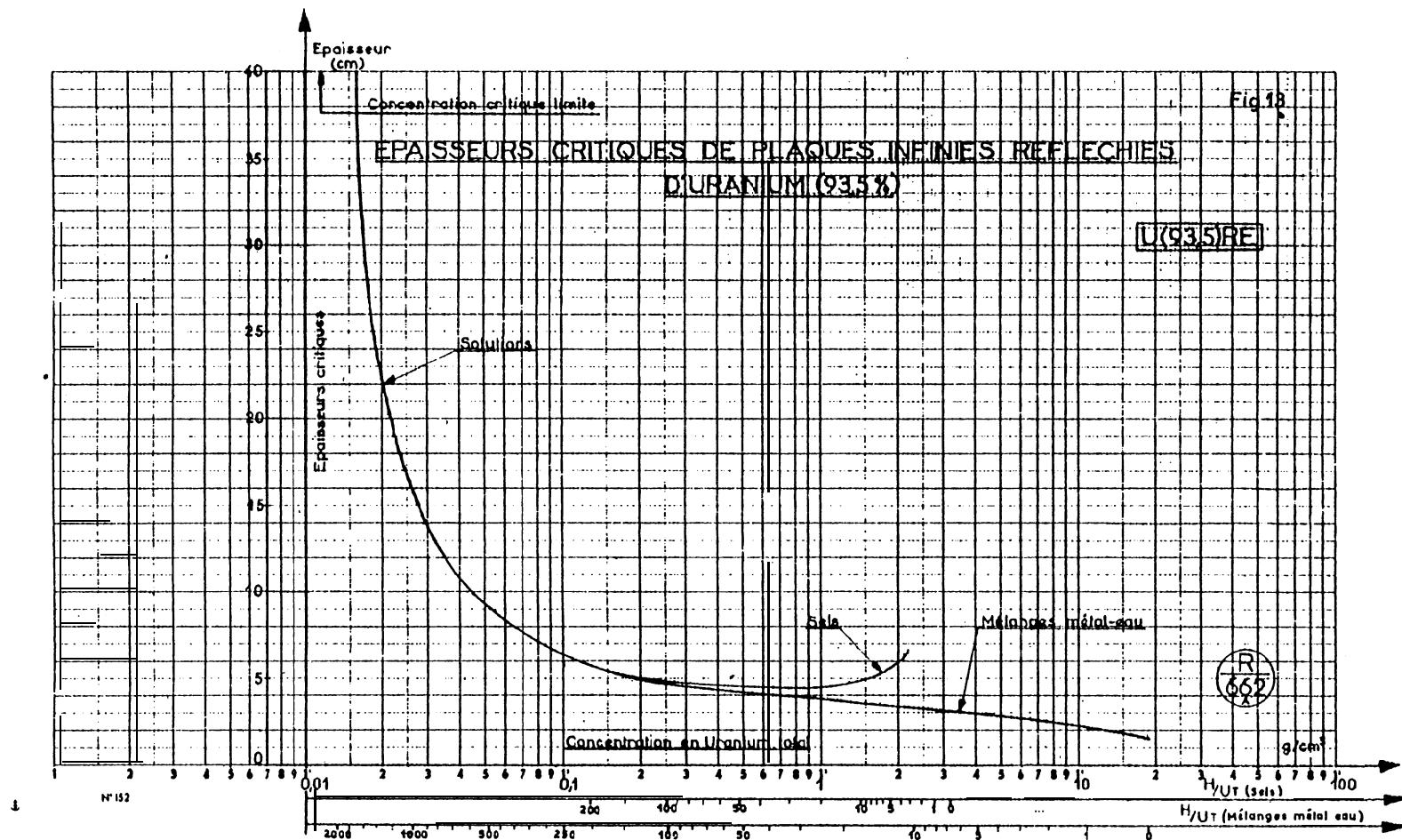


Fig 18



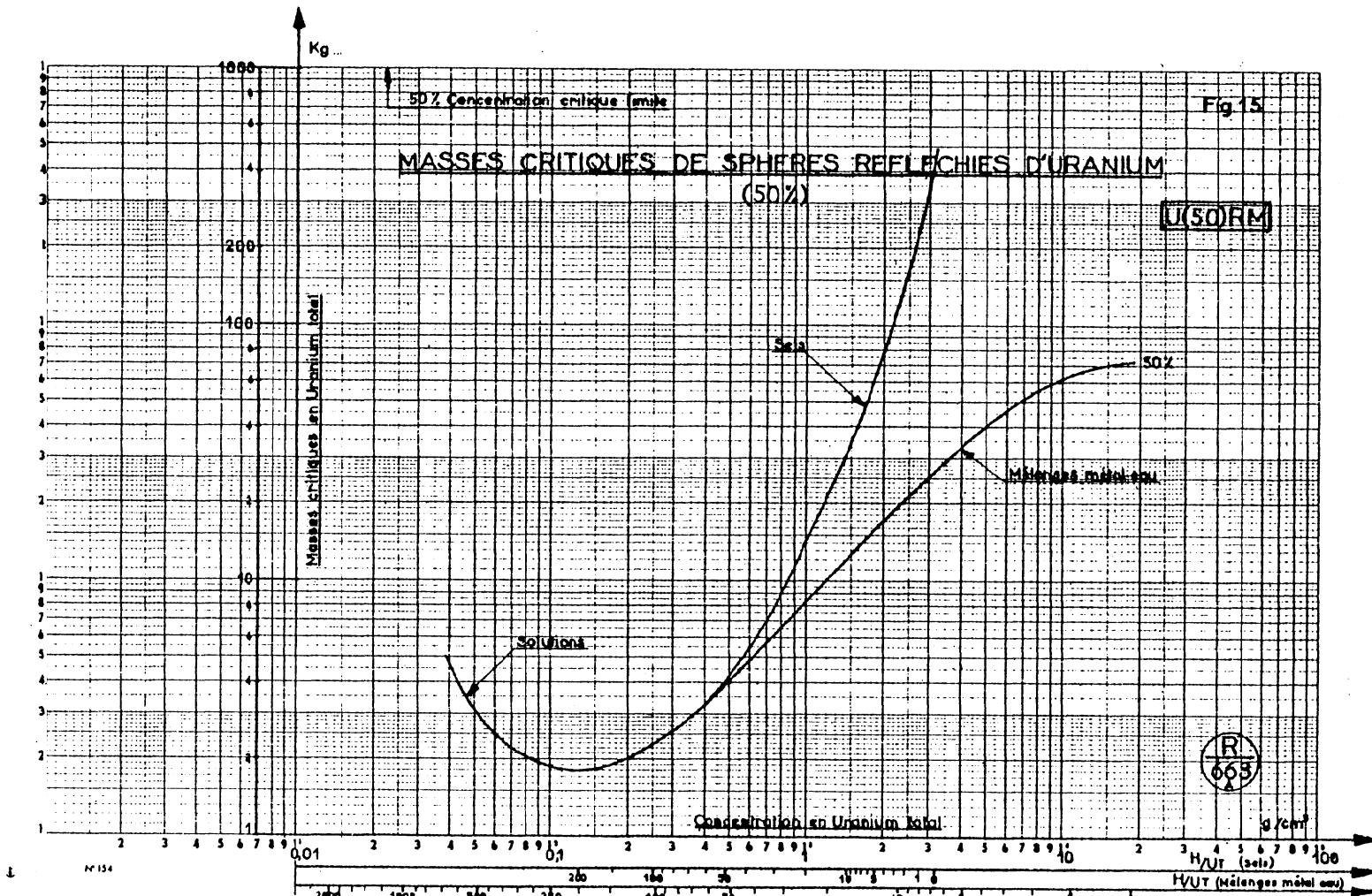
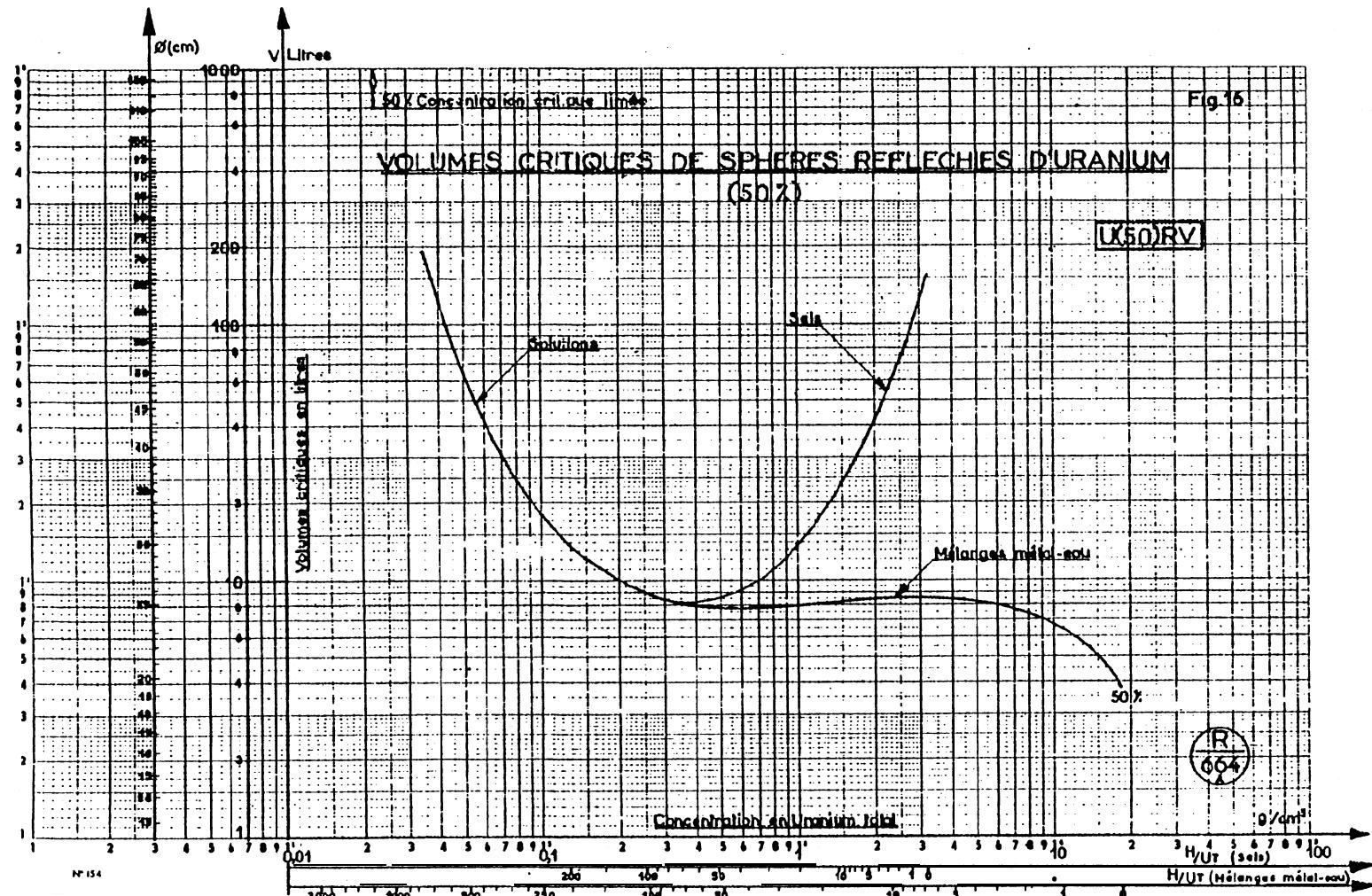


Fig. 16



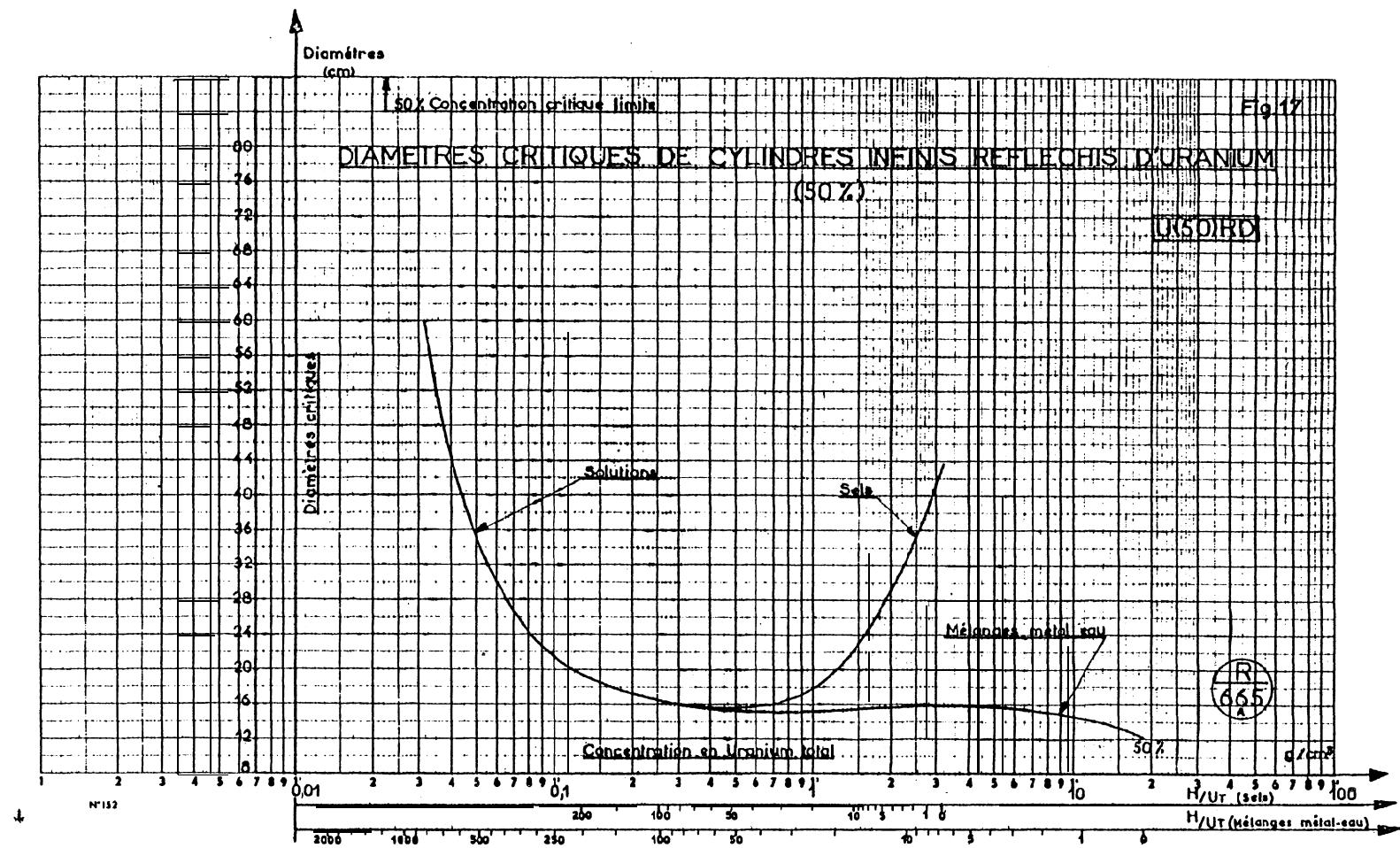


Fig 18

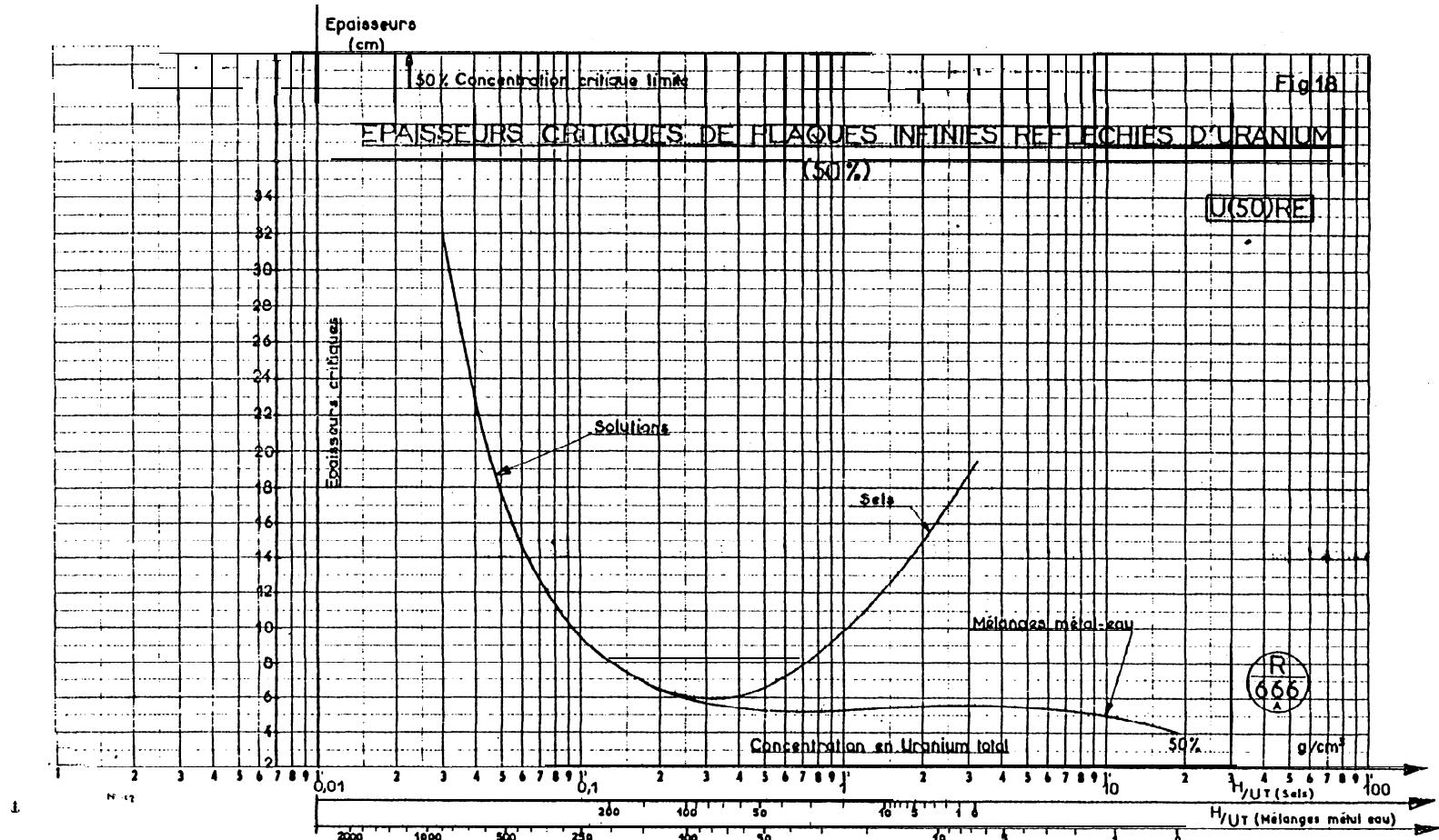


Fig. 20

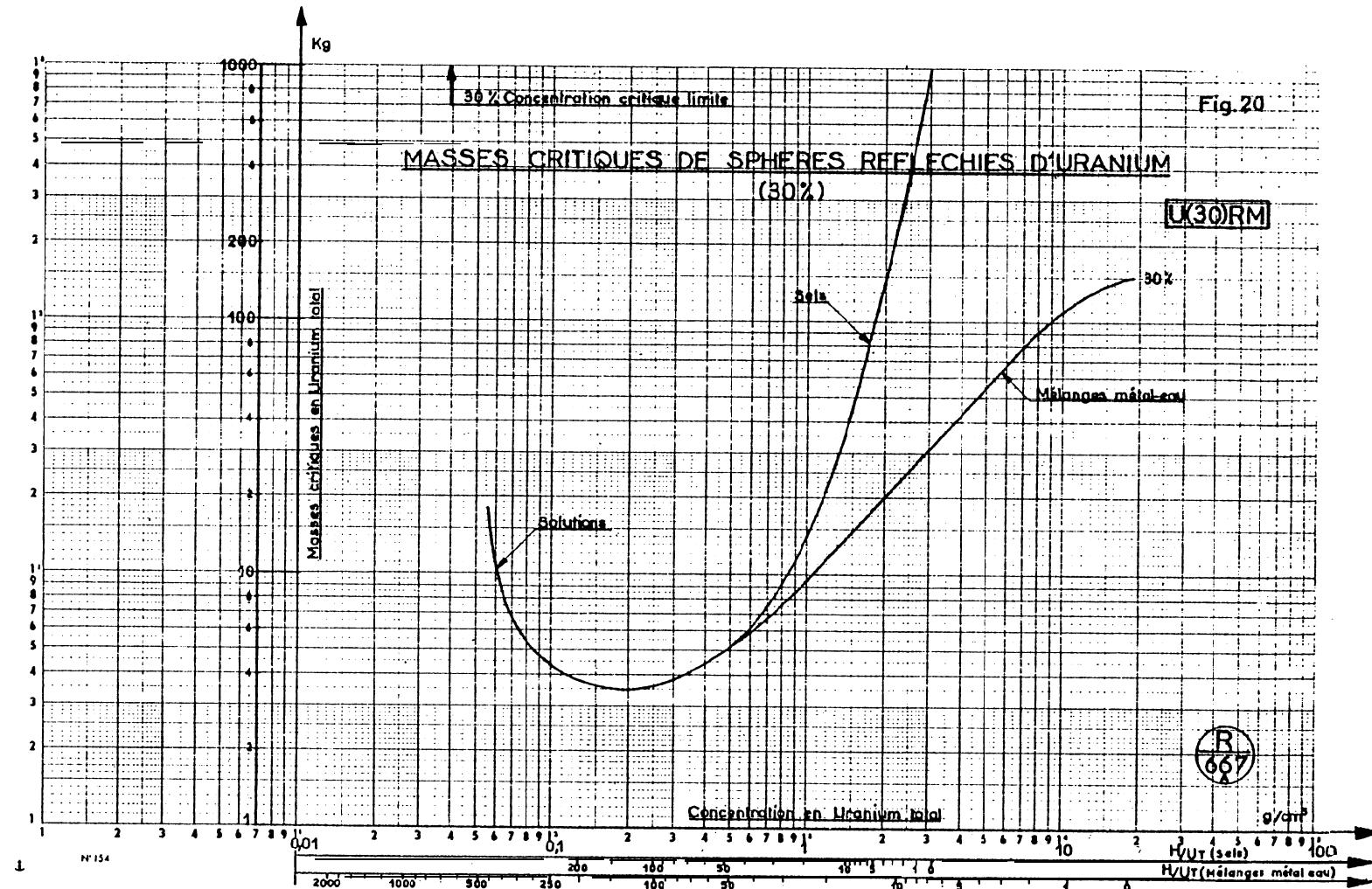


Fig. 21

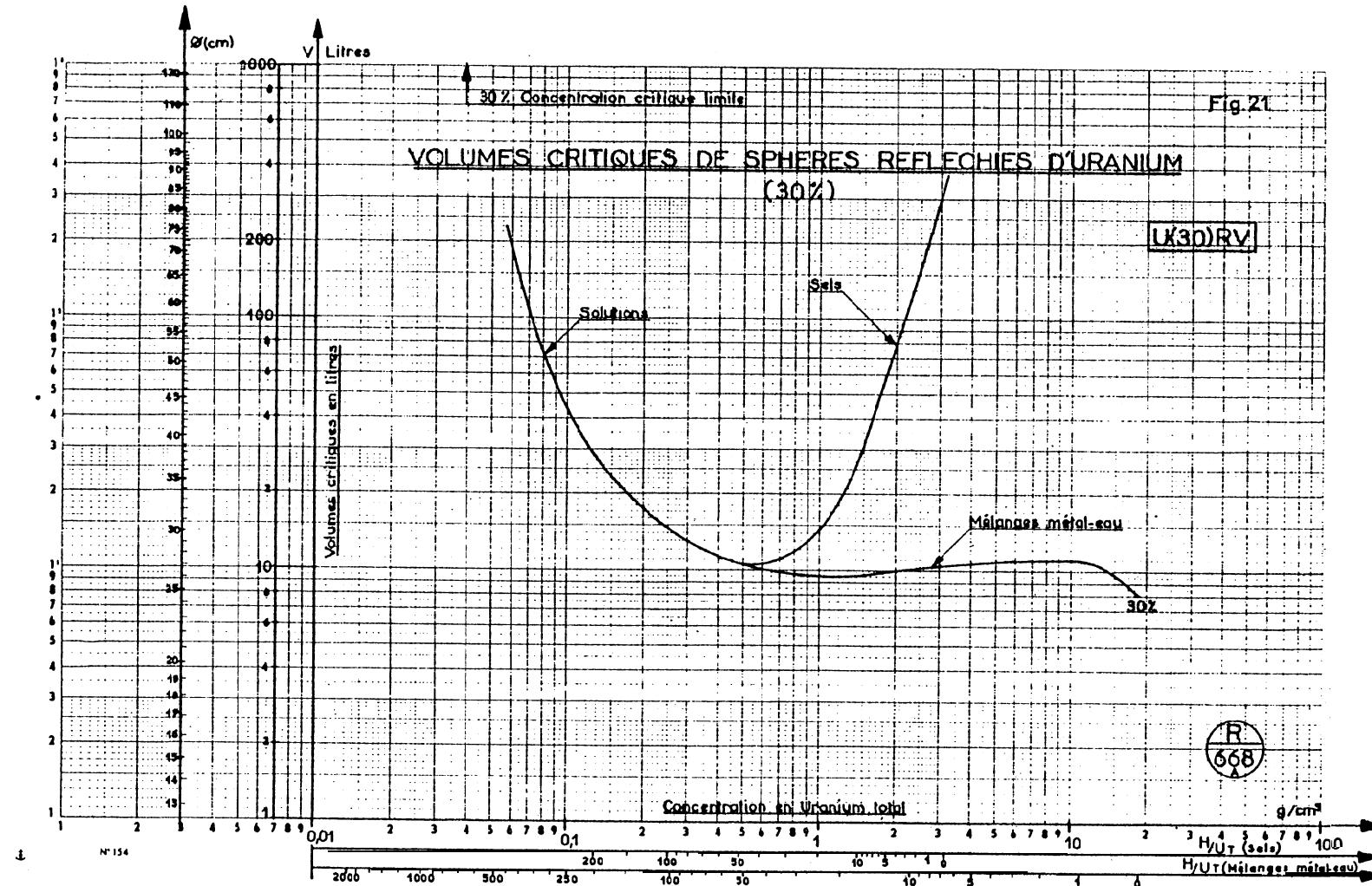


Fig. 22

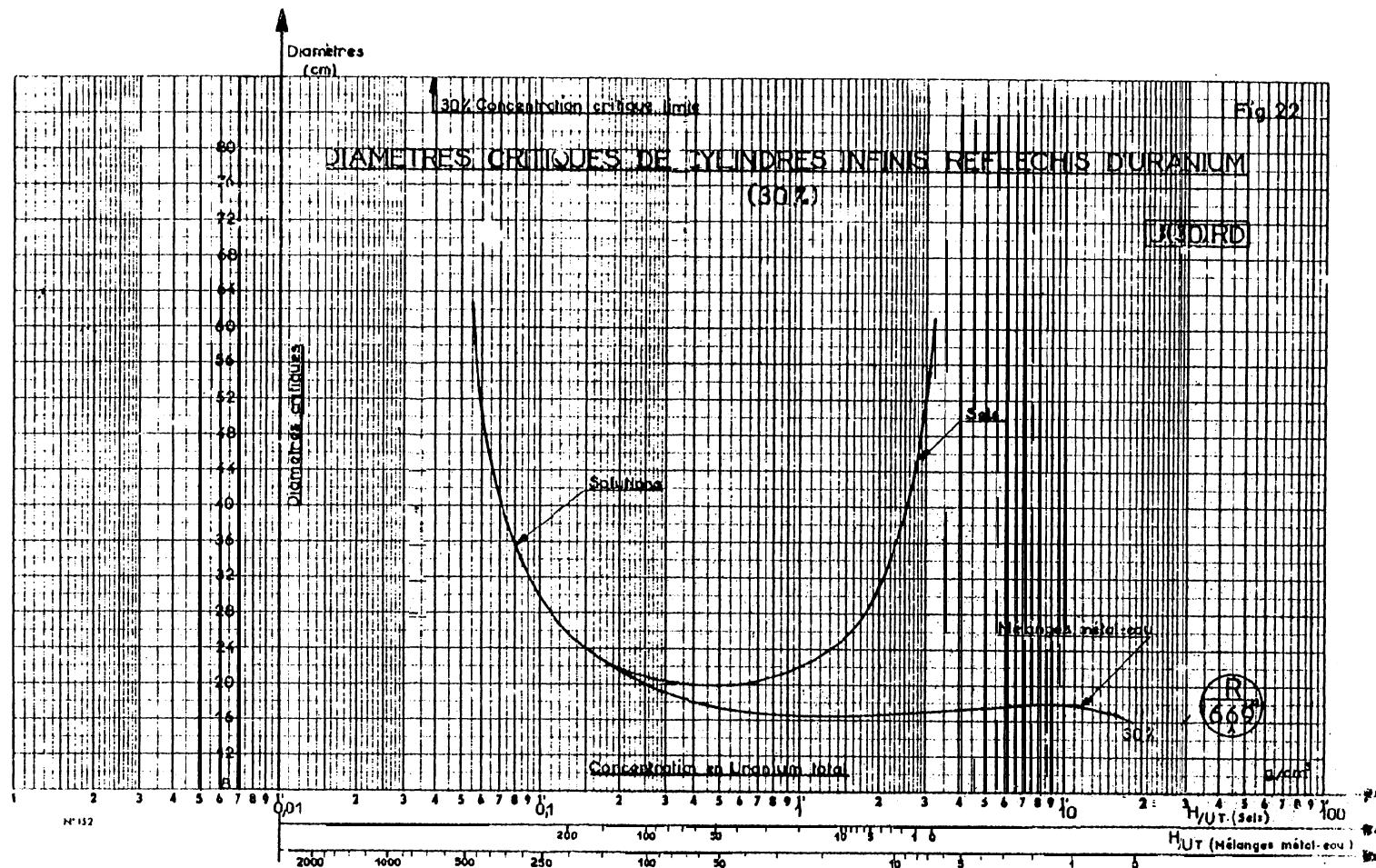
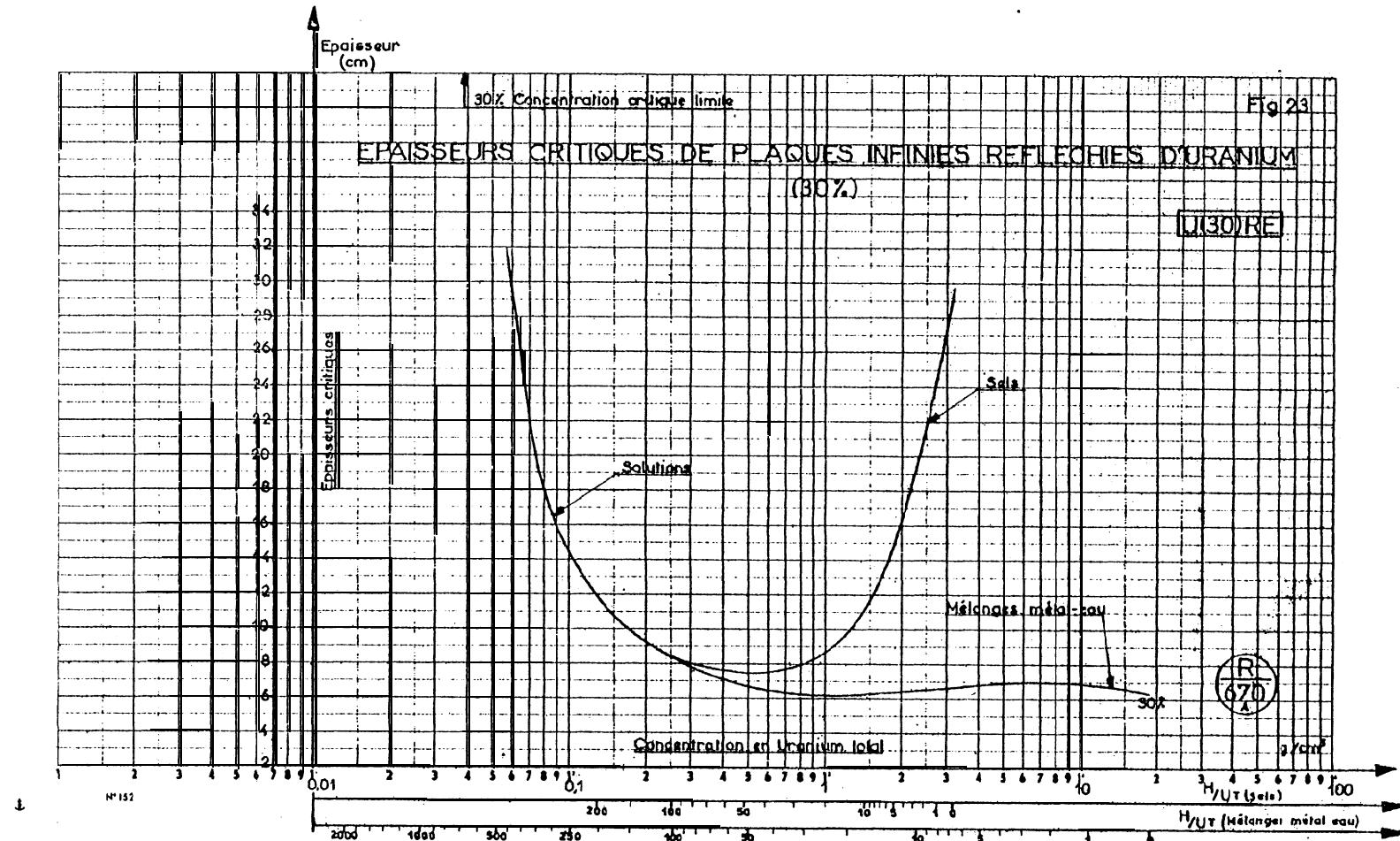
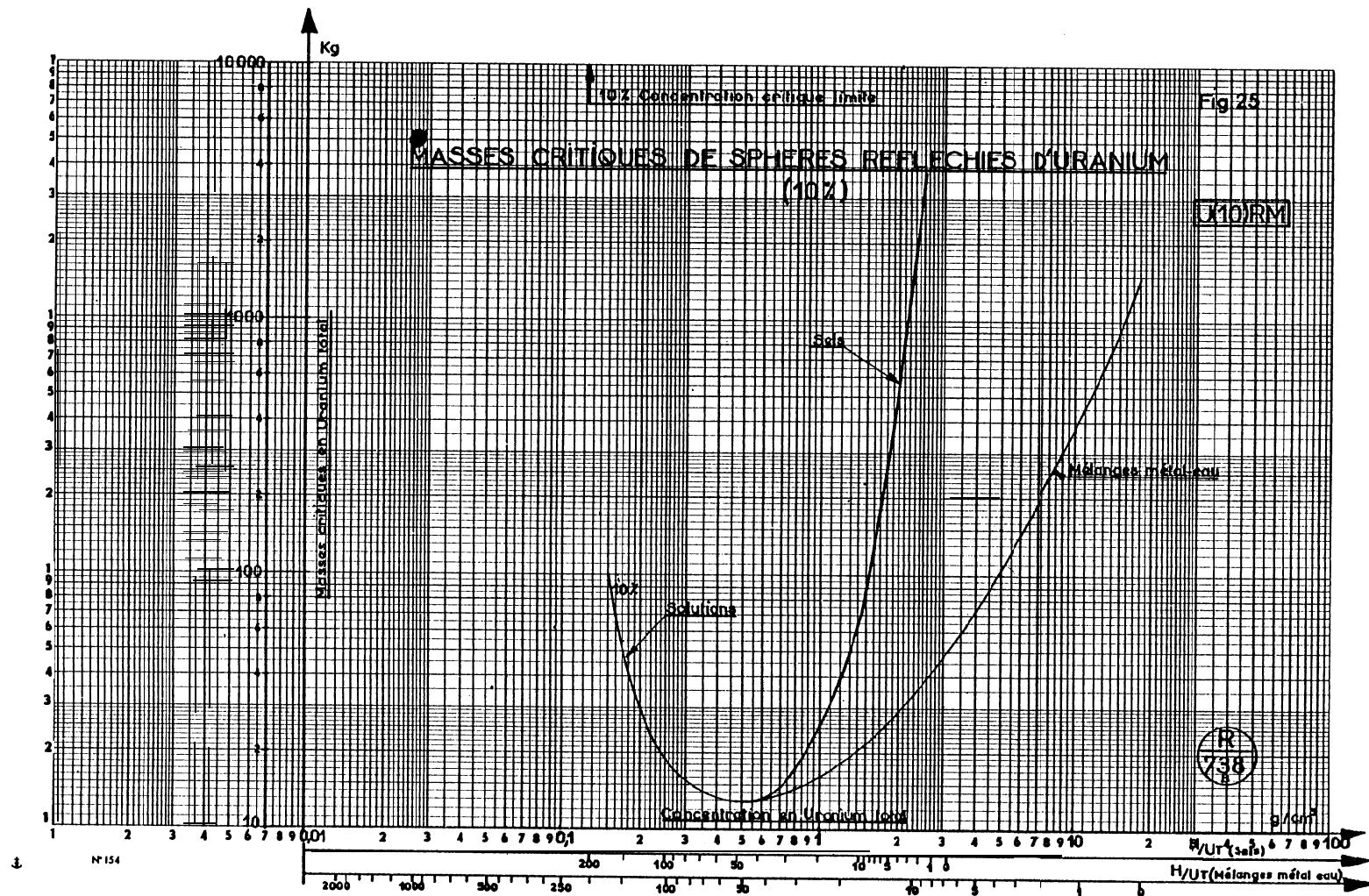
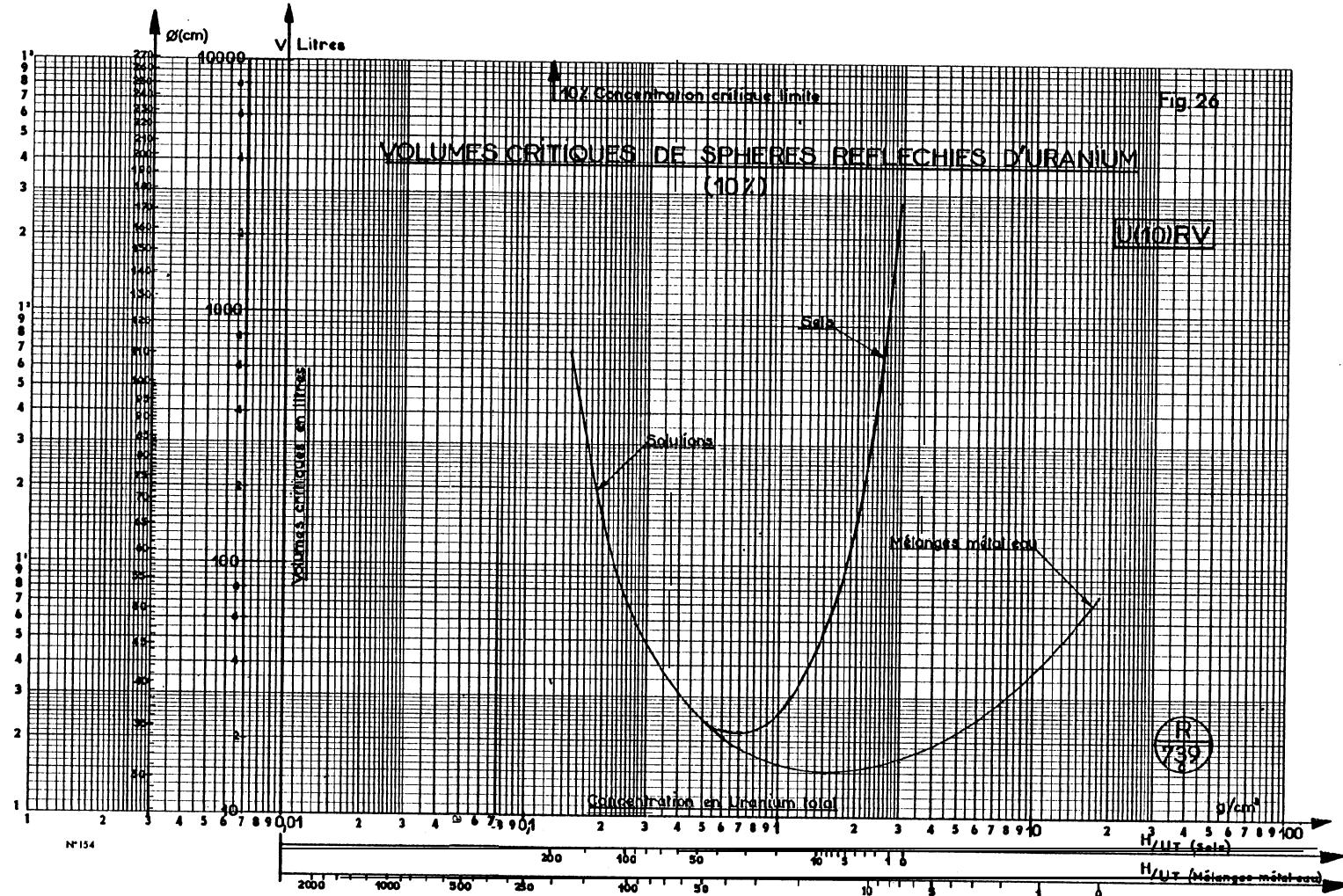


Fig. 23







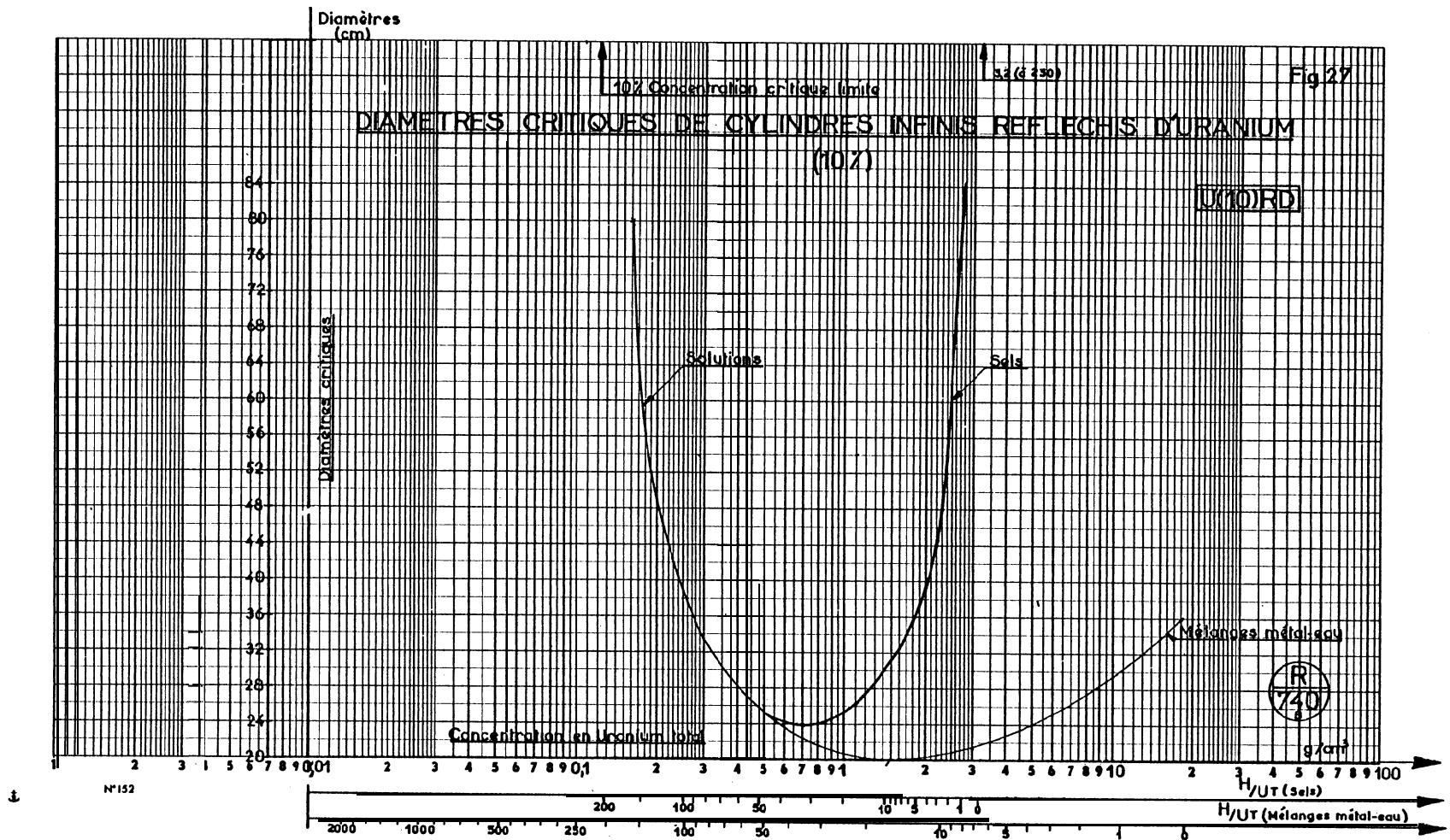
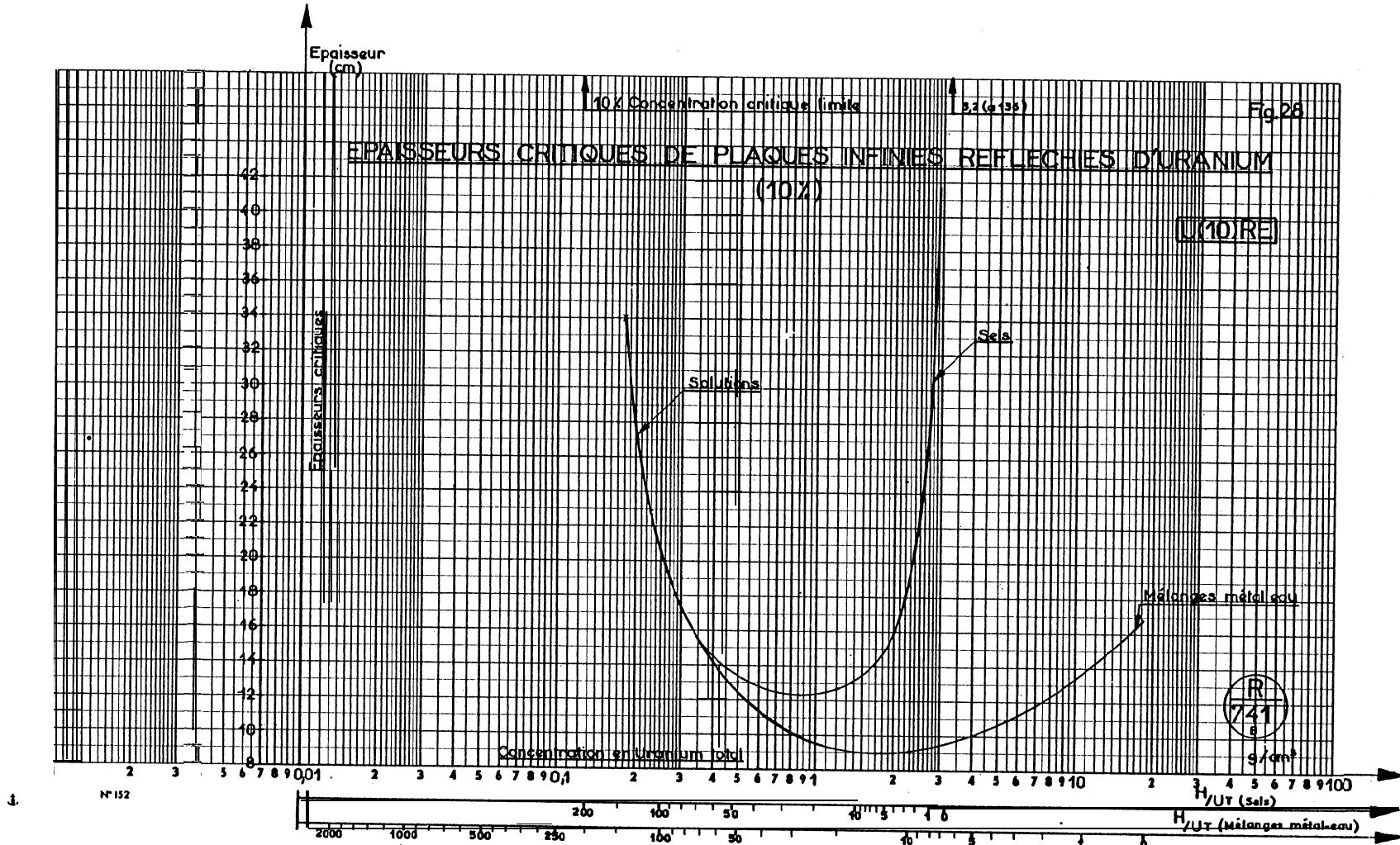
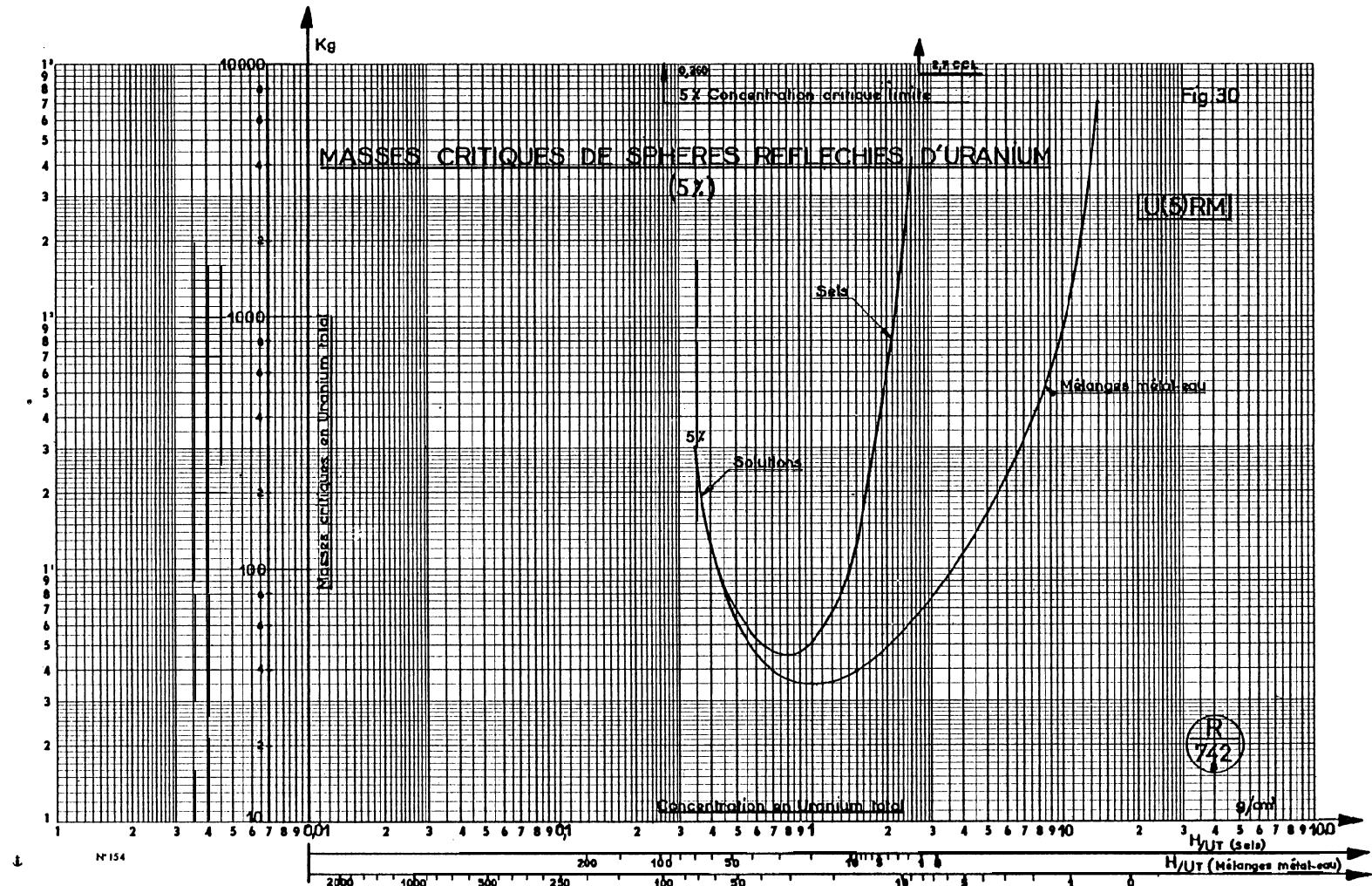
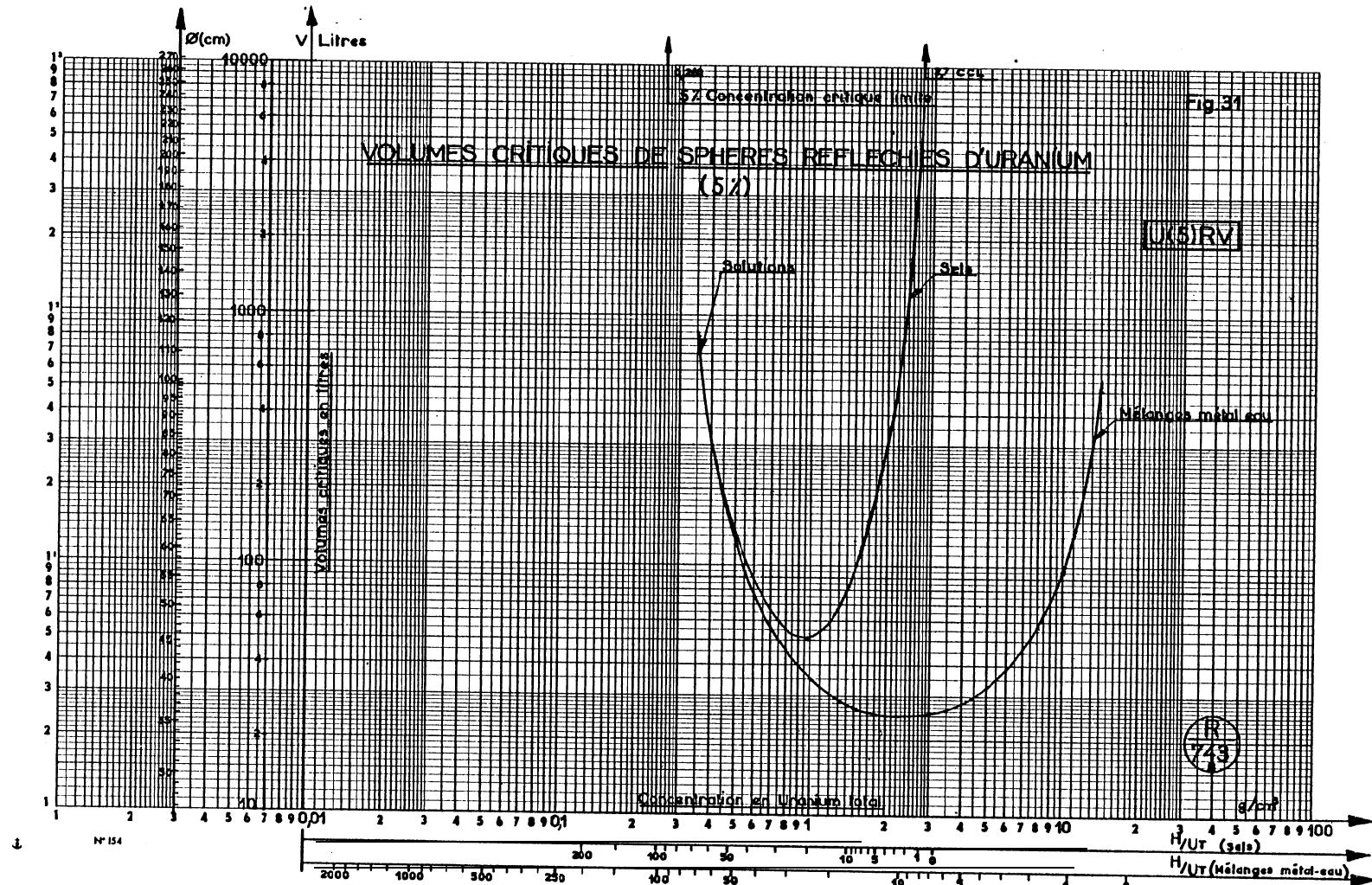
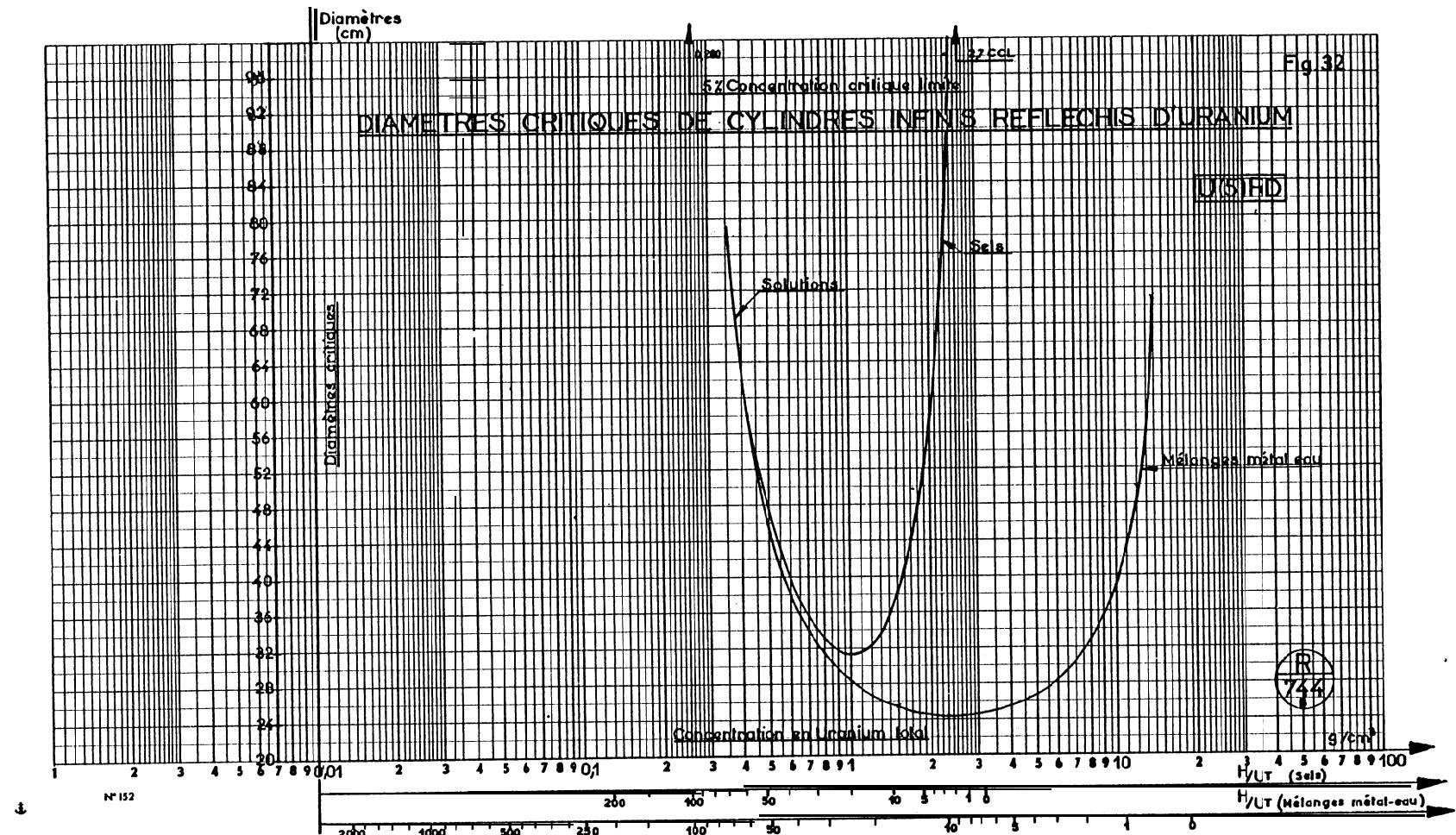


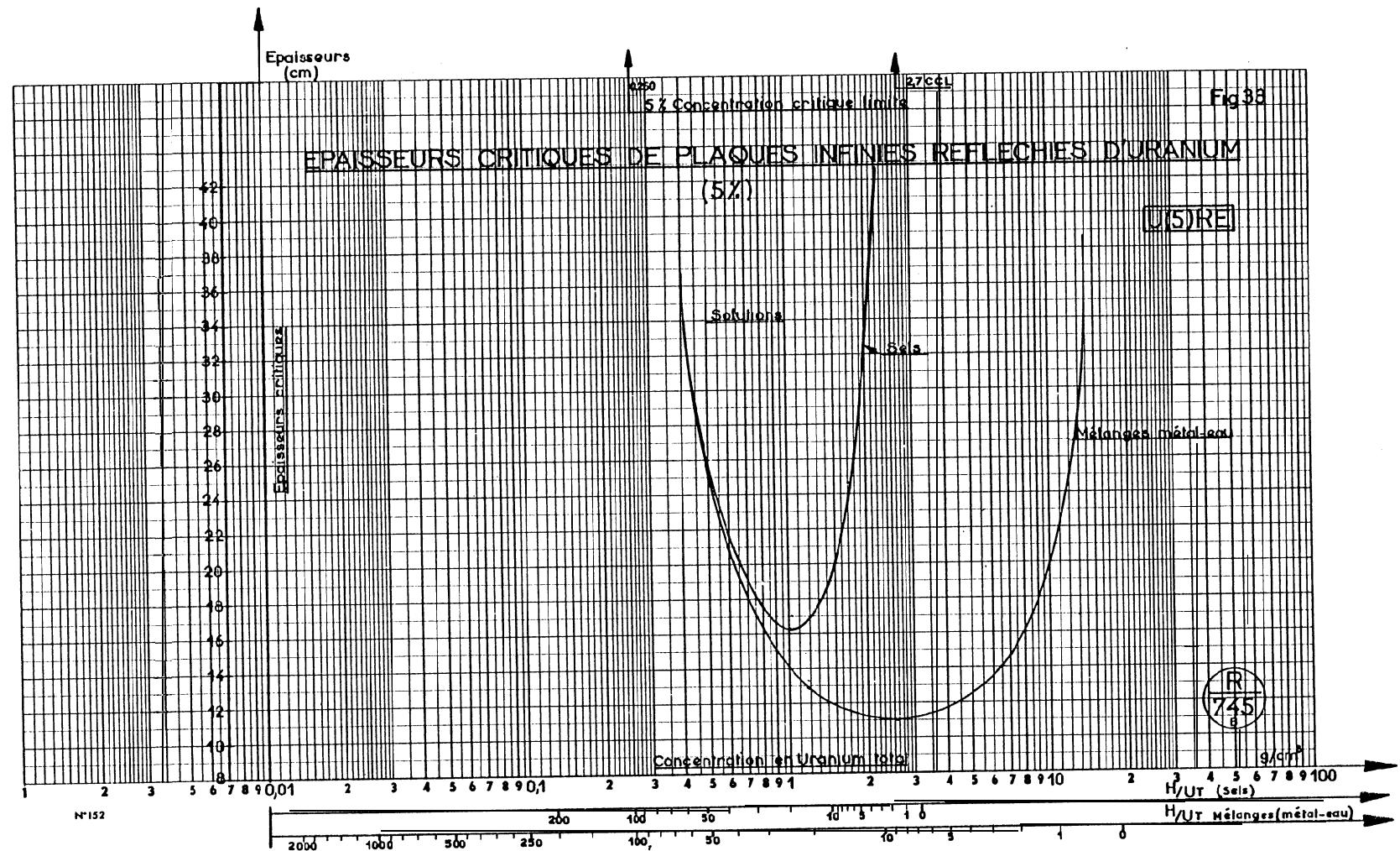
Fig. 27











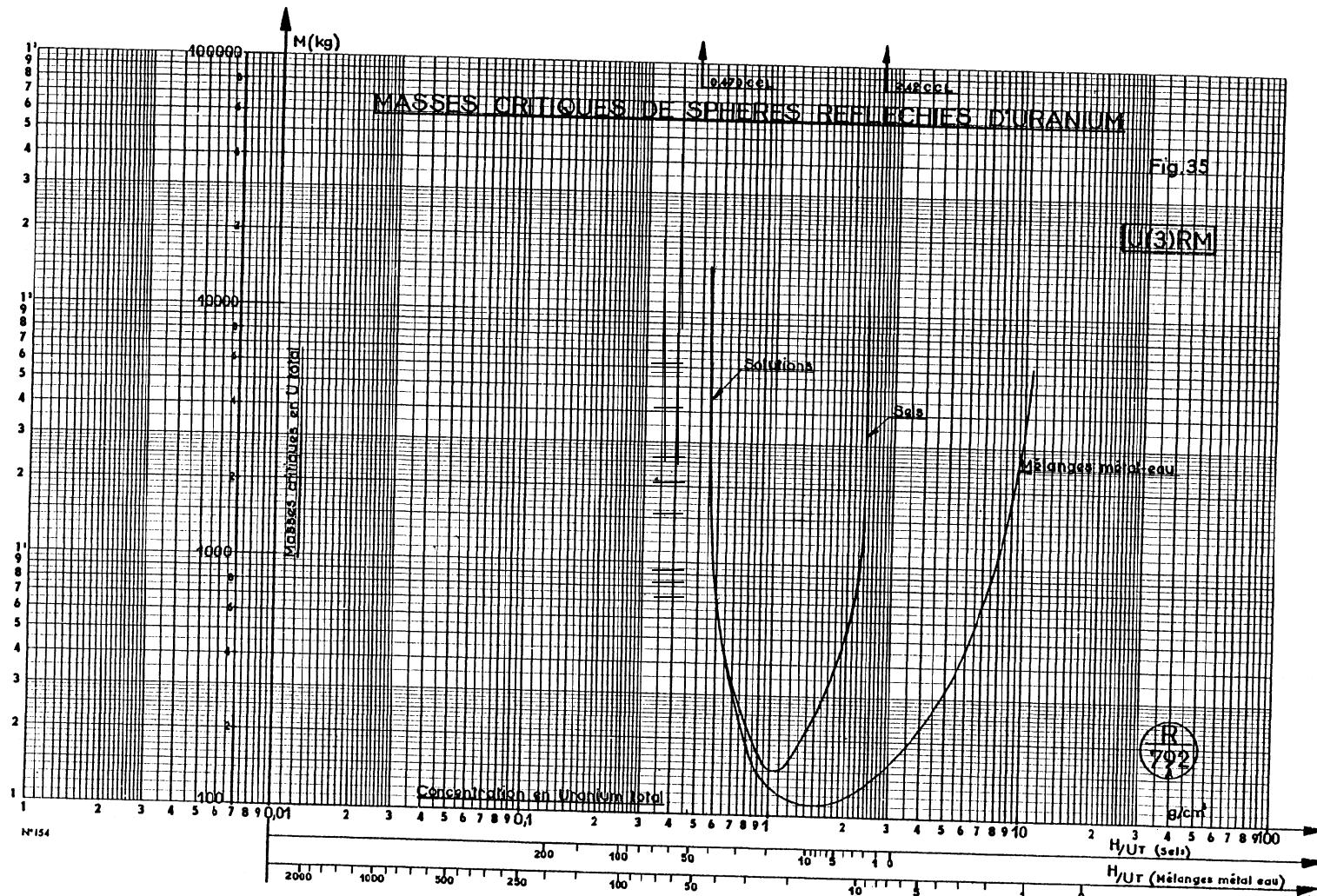
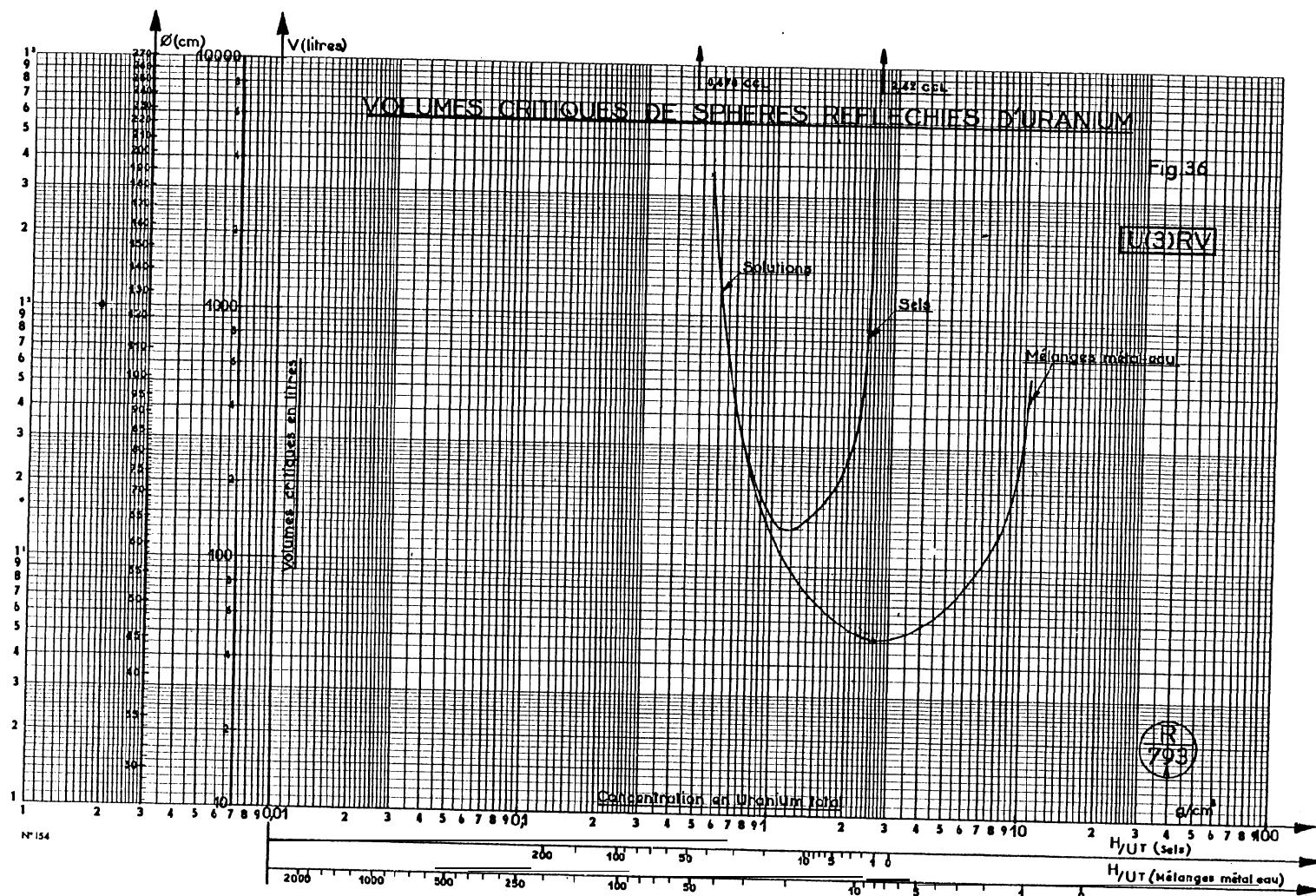
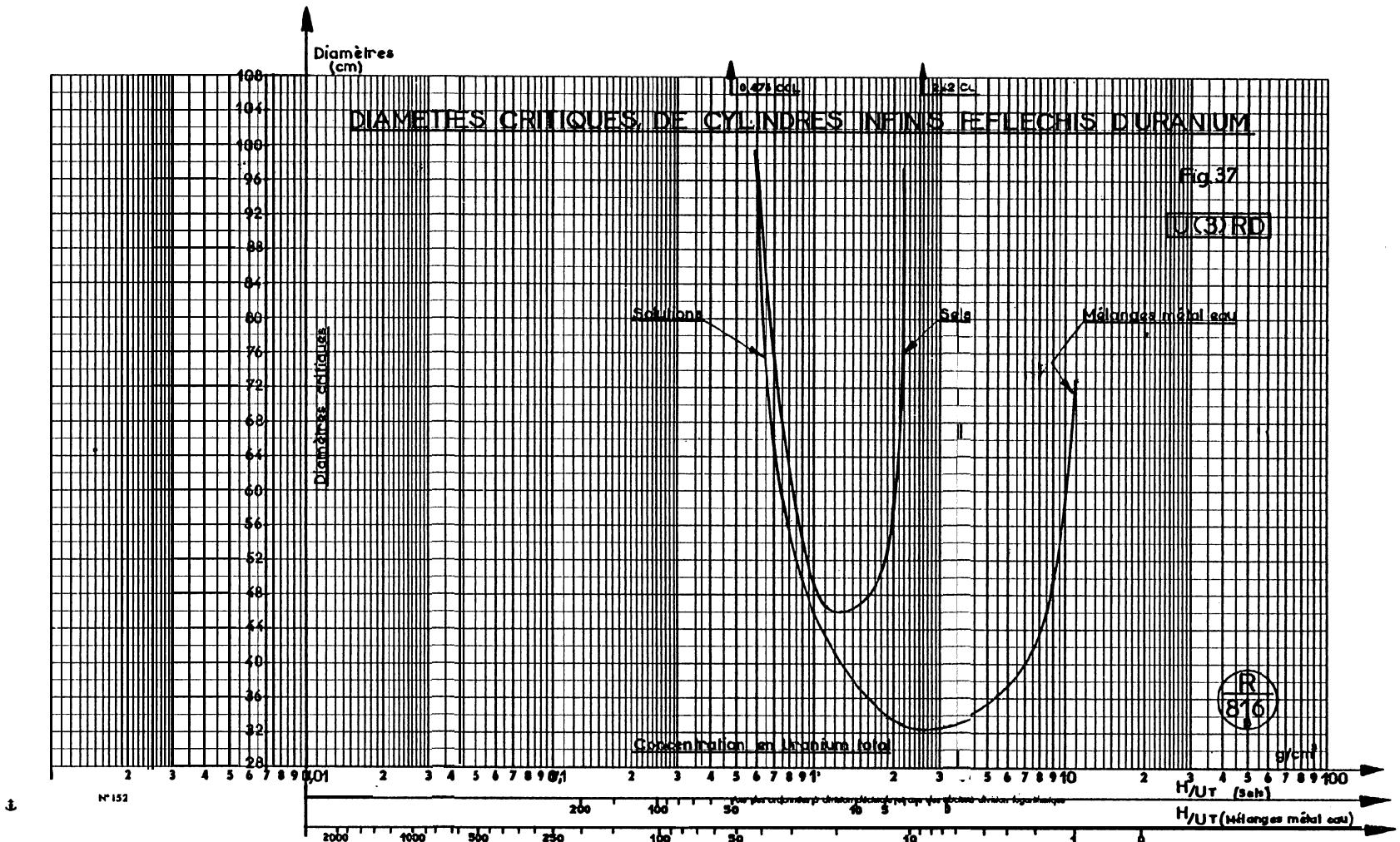
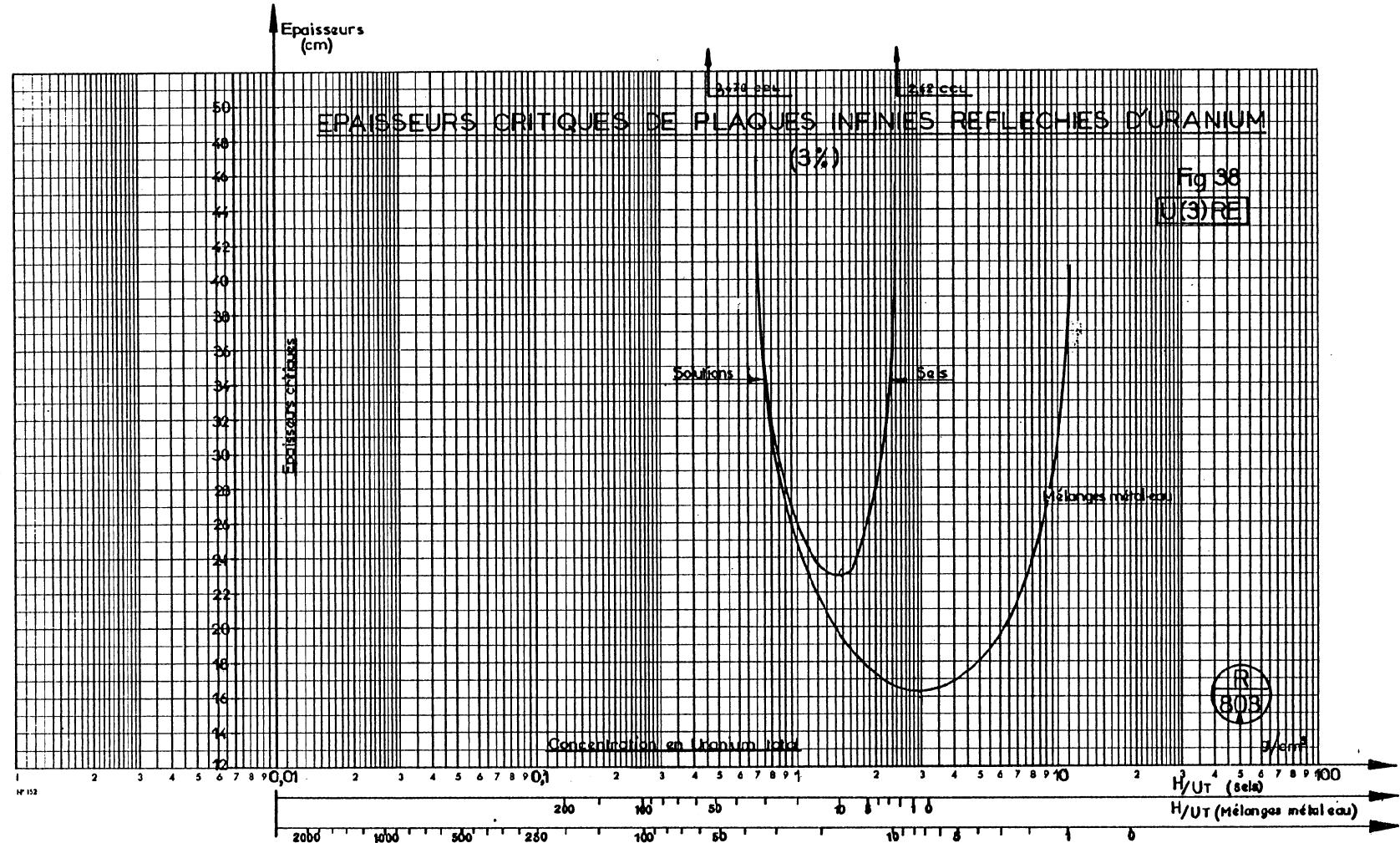
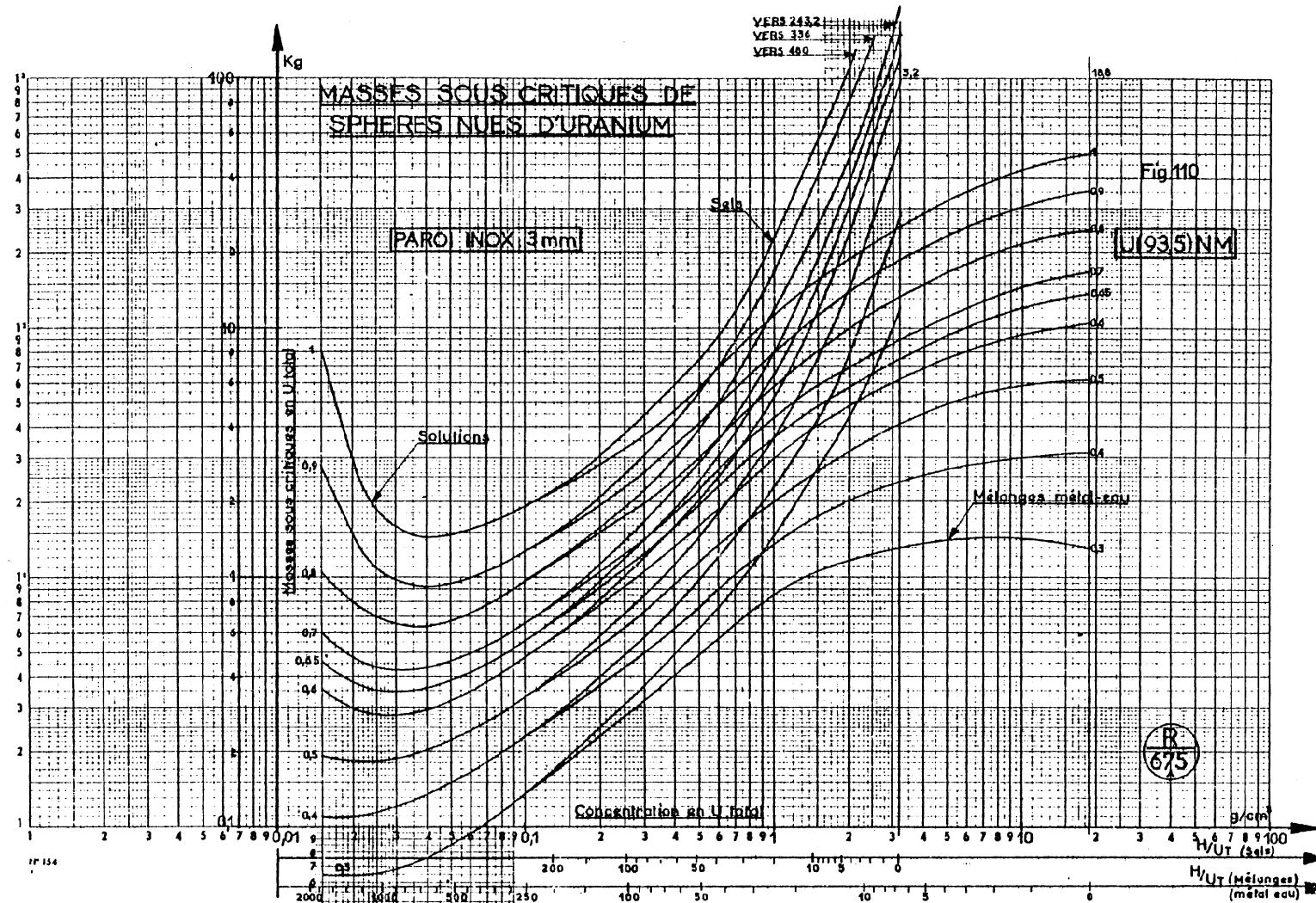


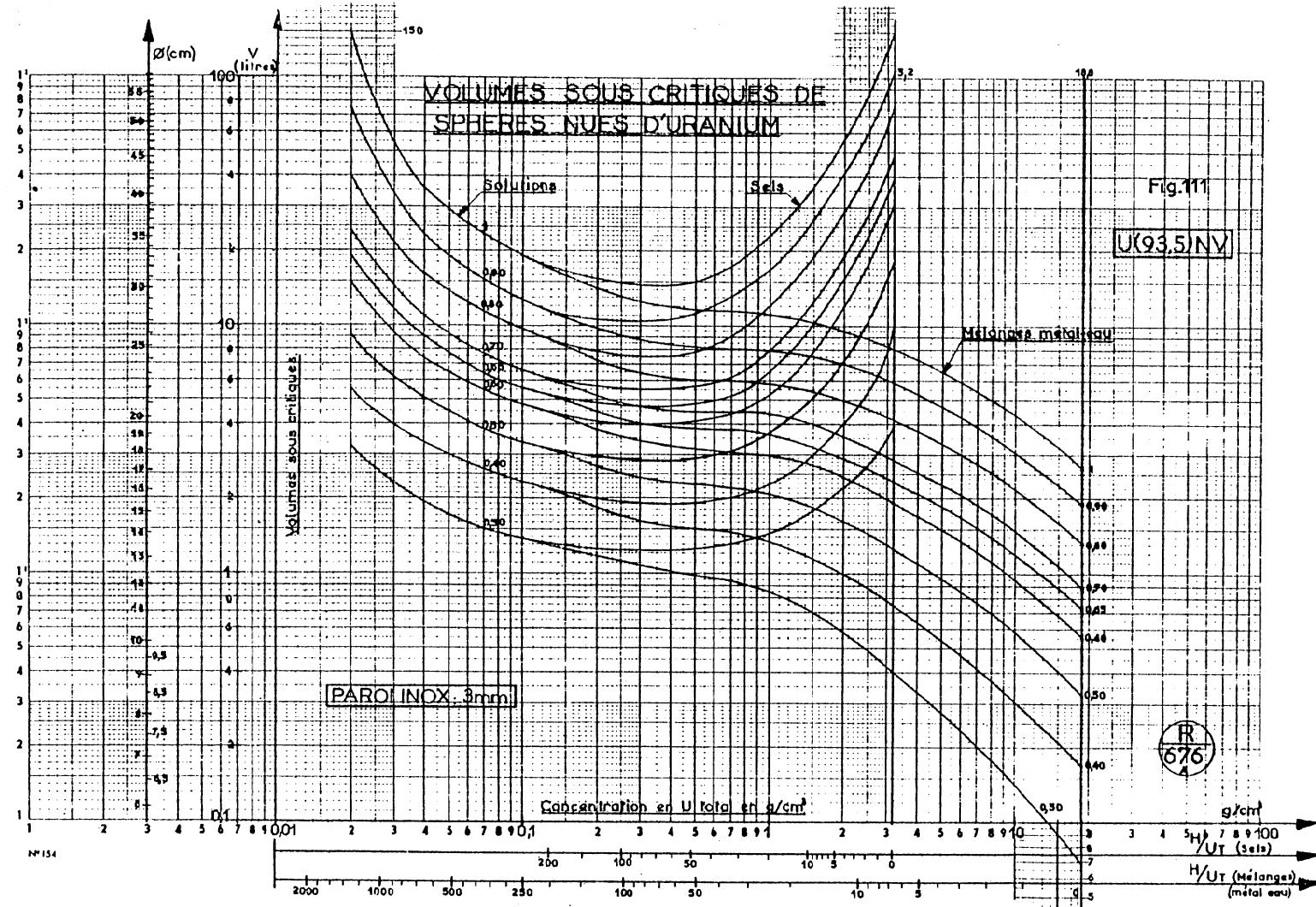
Fig.35

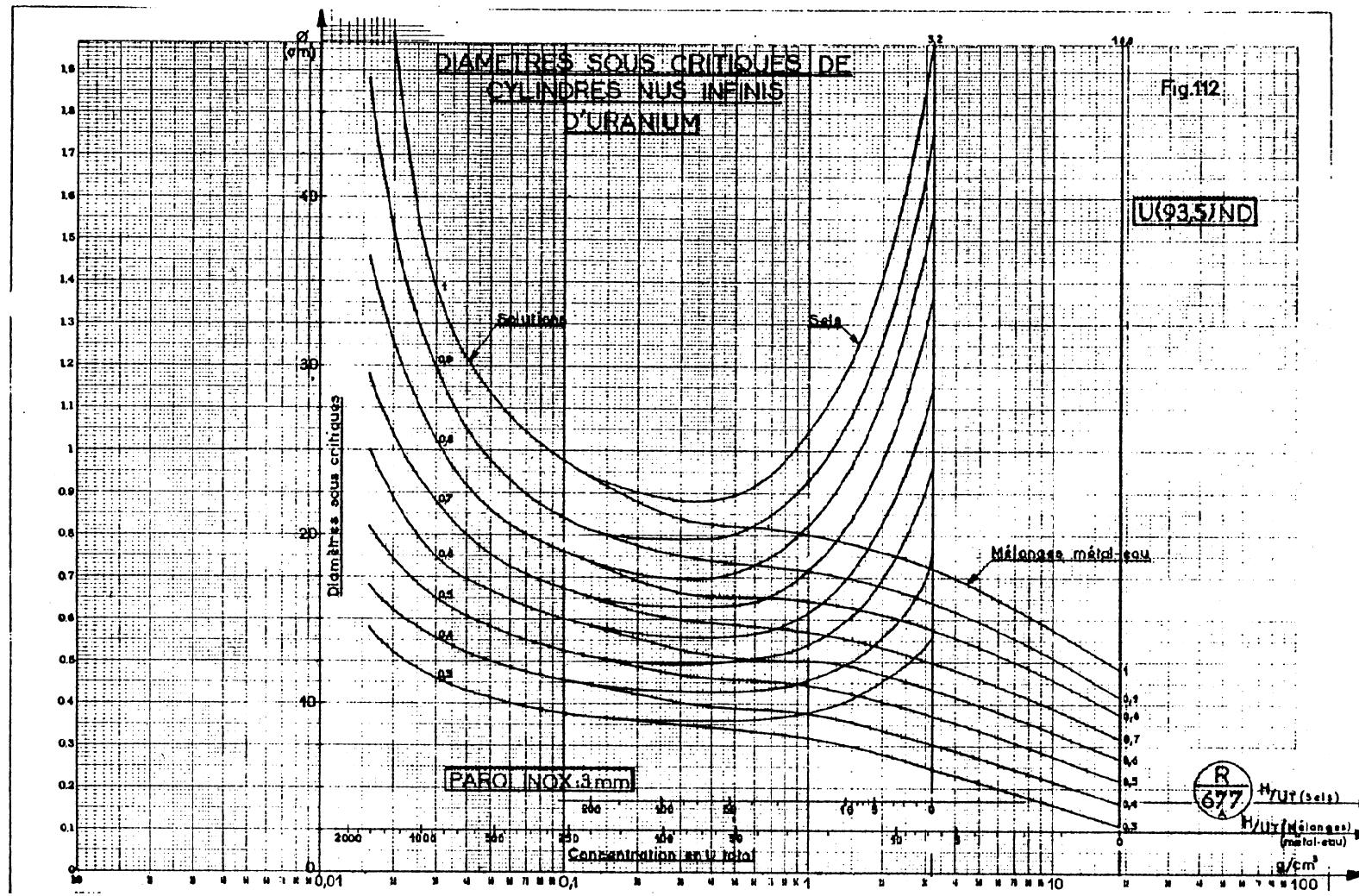


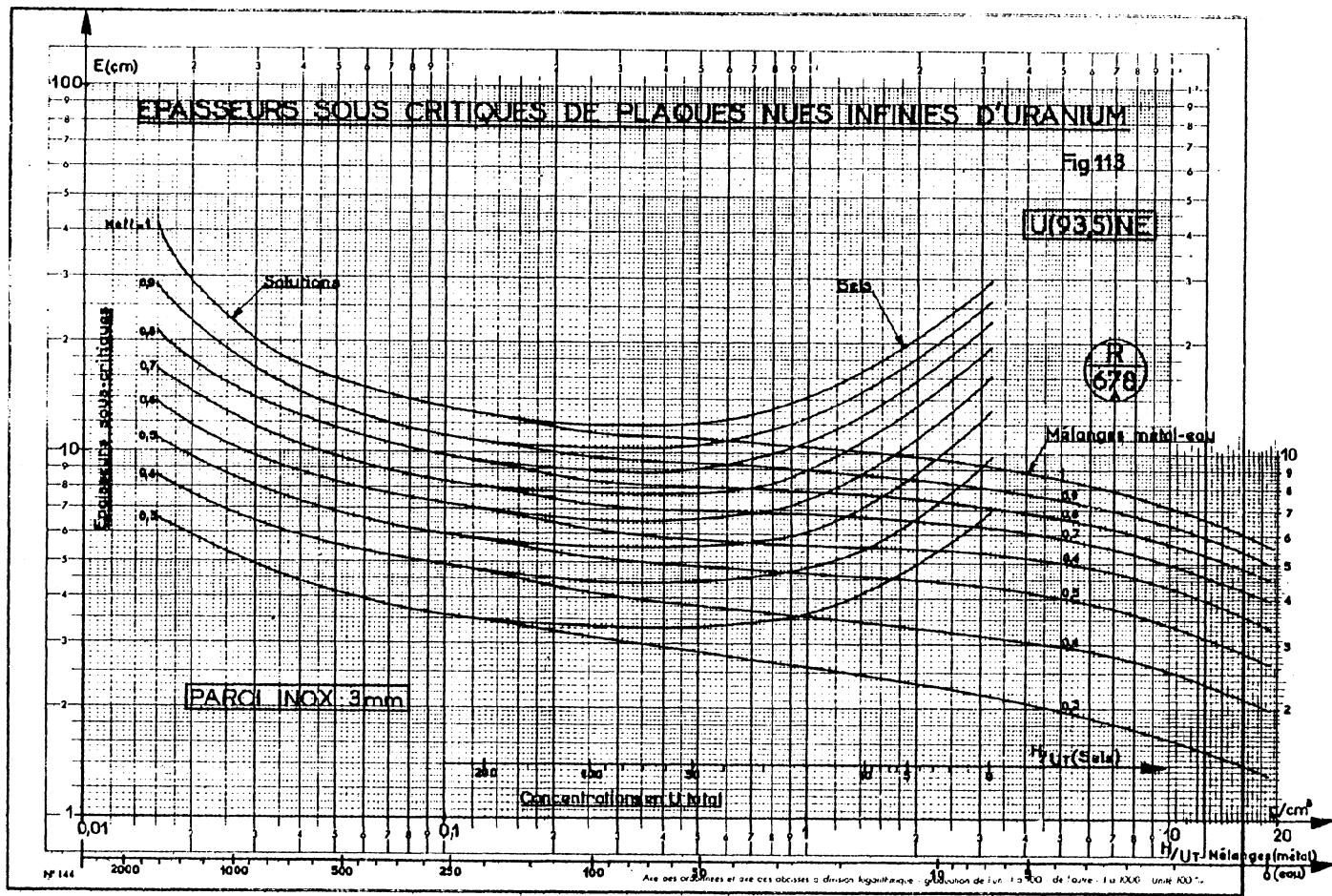


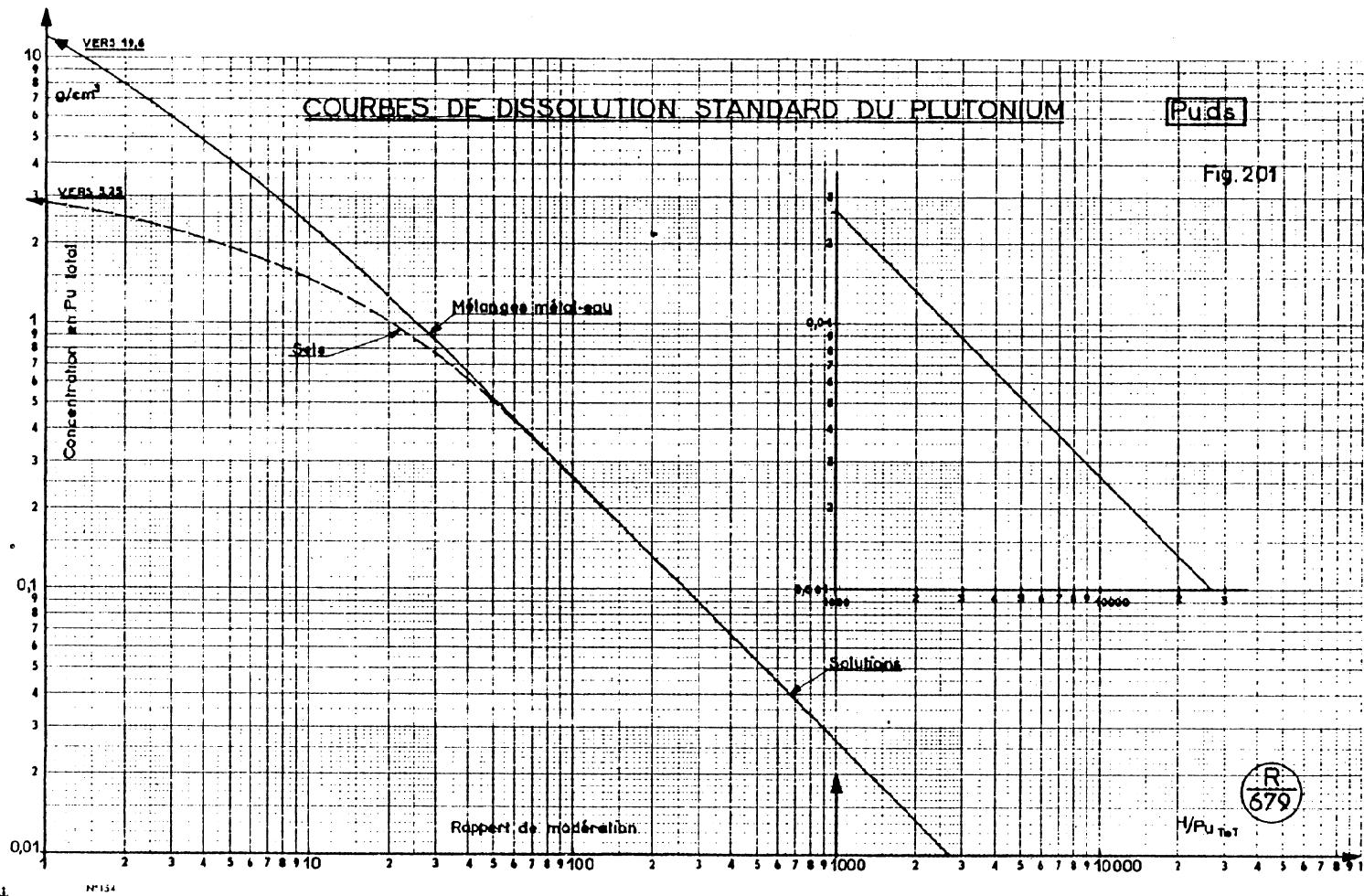


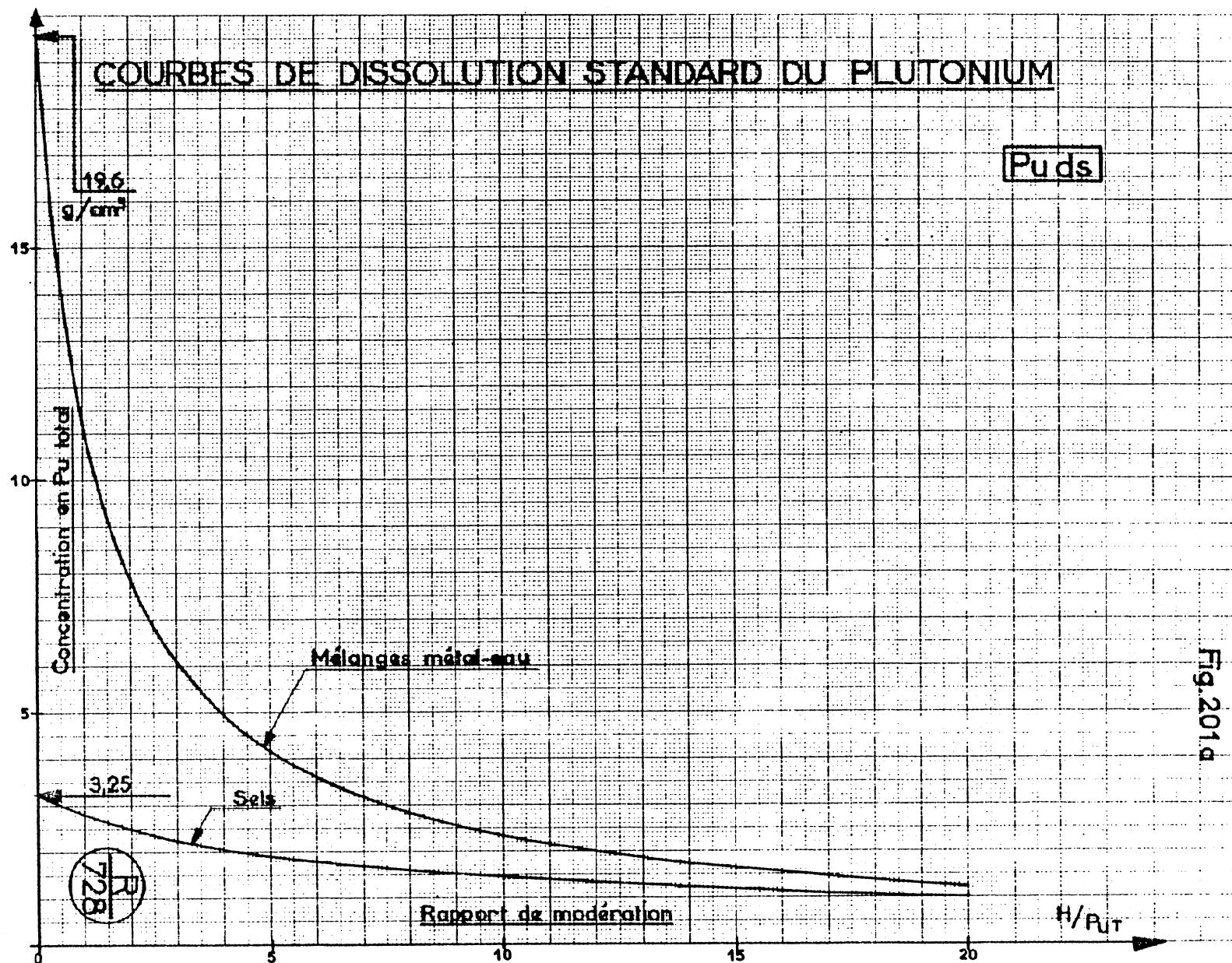












MASSES CRITIQUES MINIMA DE SPHERES DE PLUTONIUM REFLECHIES

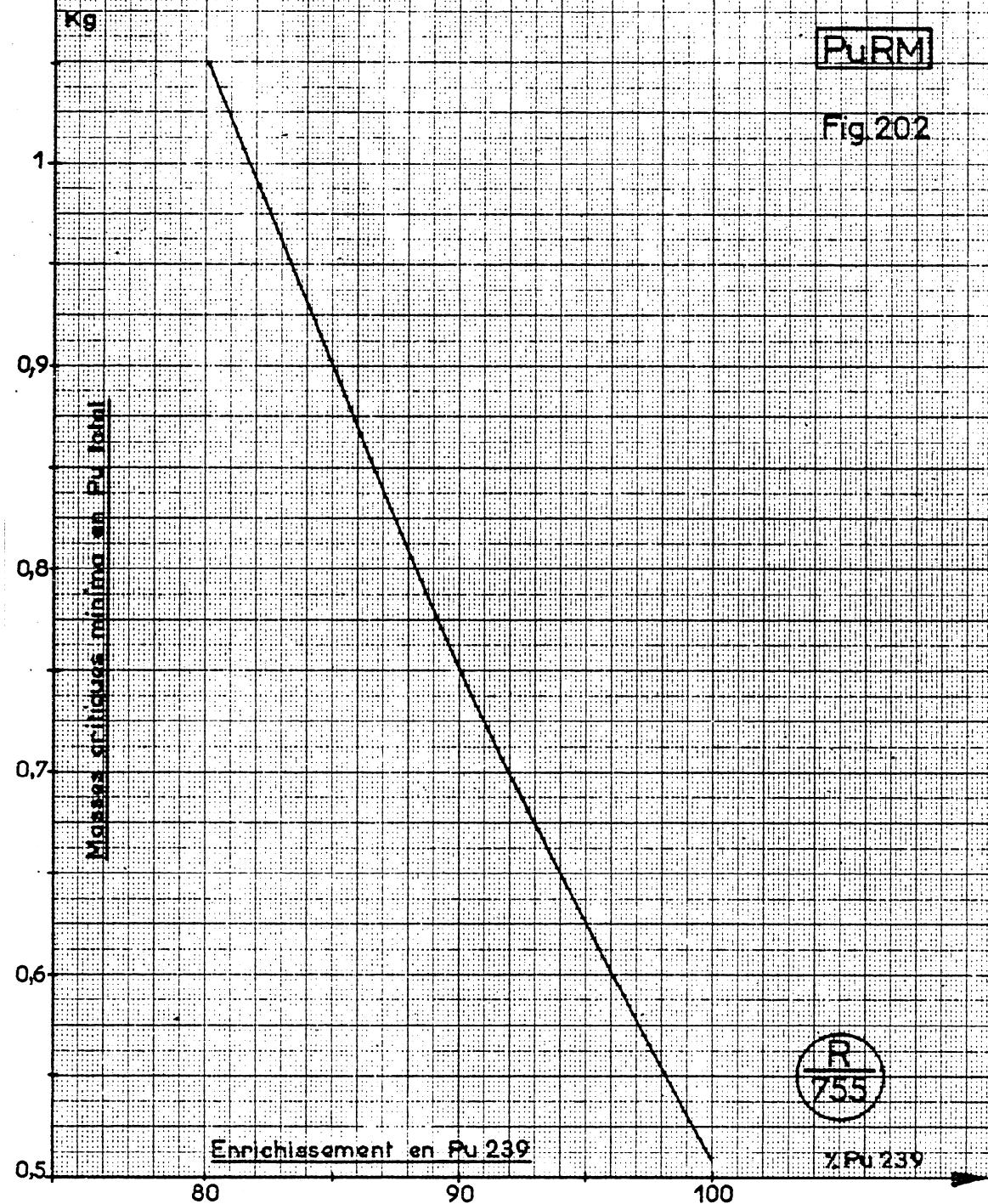


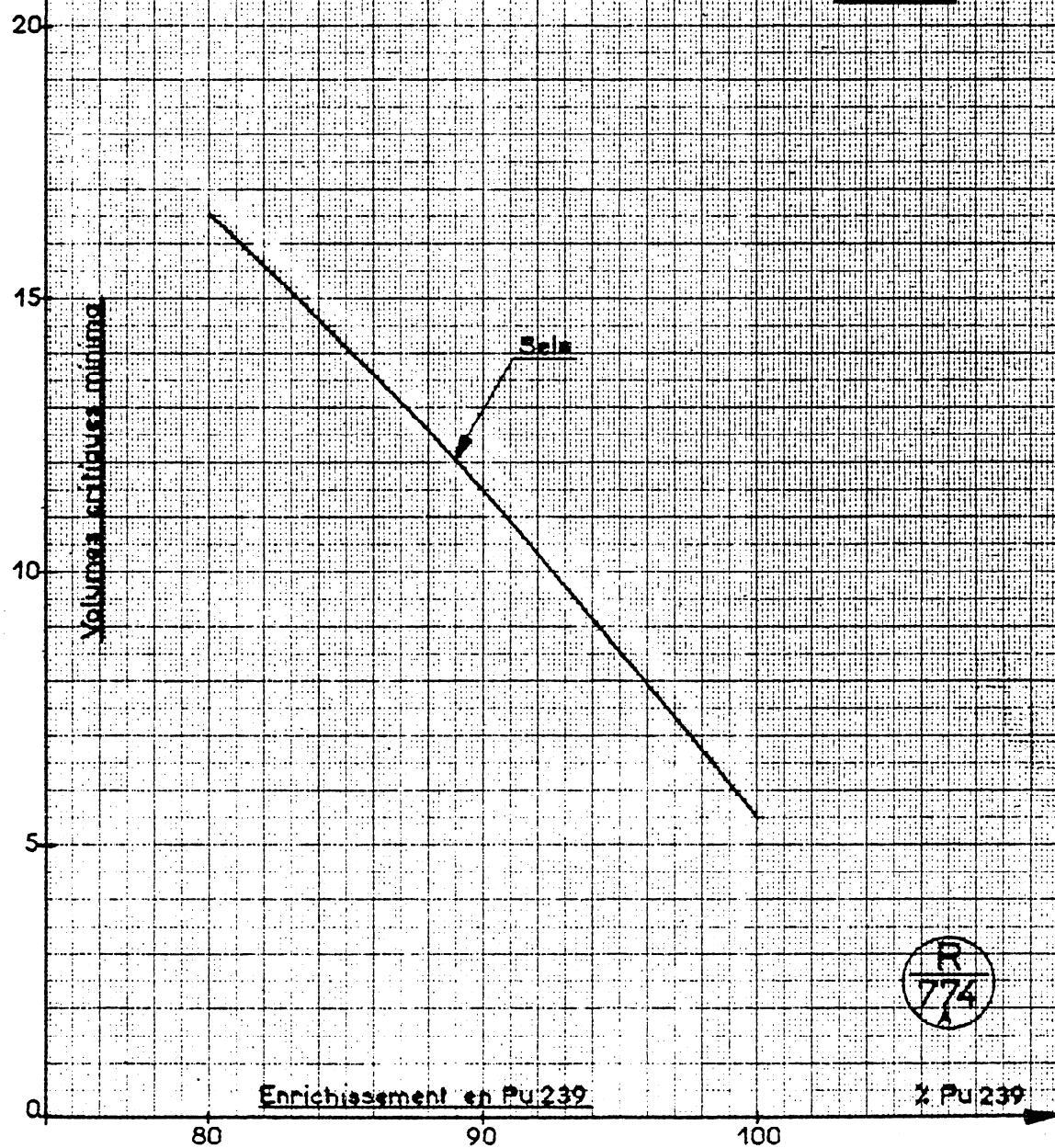
Fig. 202

VOLUMES CRITIQUES MINIMA DES STABILISATIONS
DE PLUTONIUM REFLECHIES

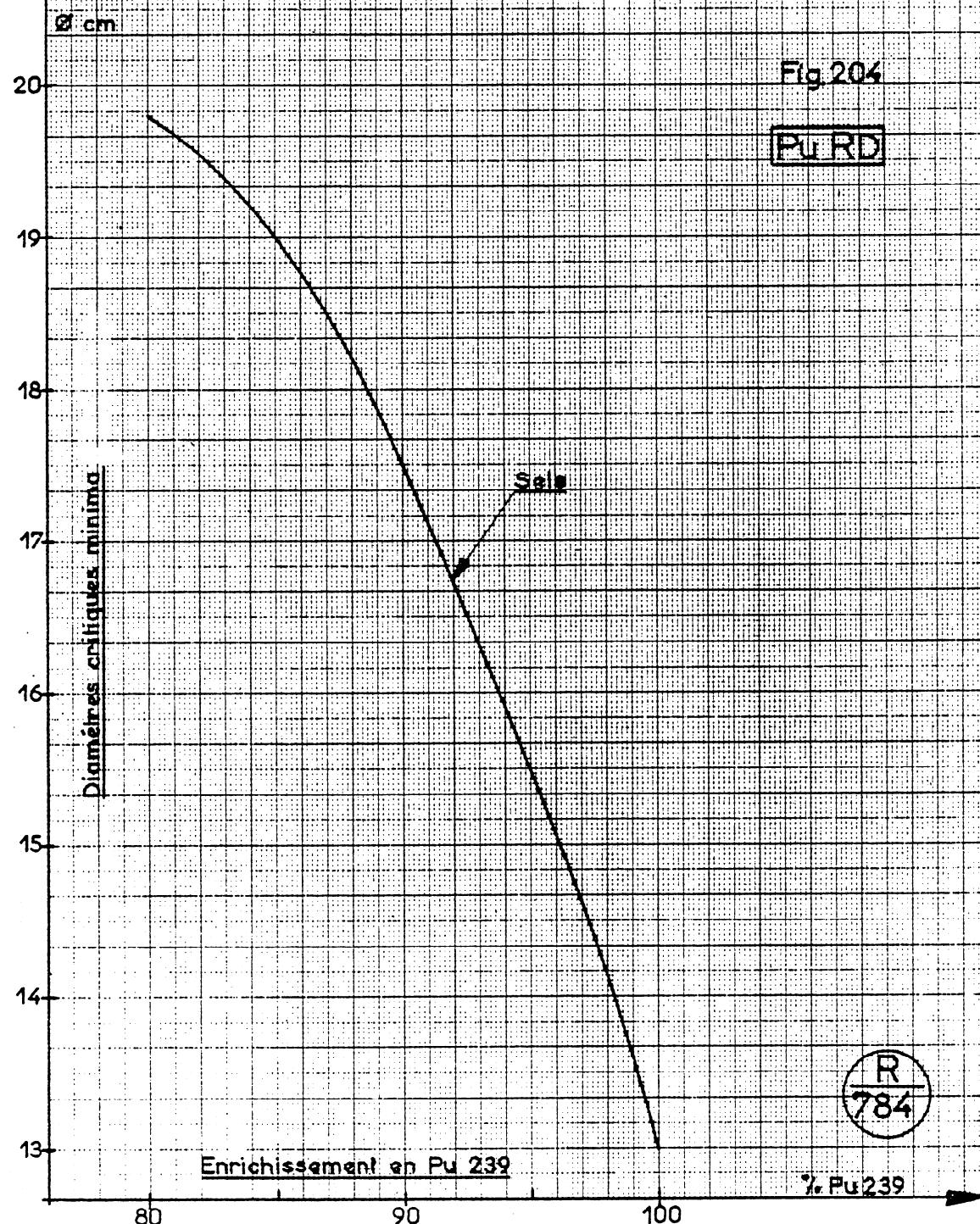
V(litres)

Fig 203

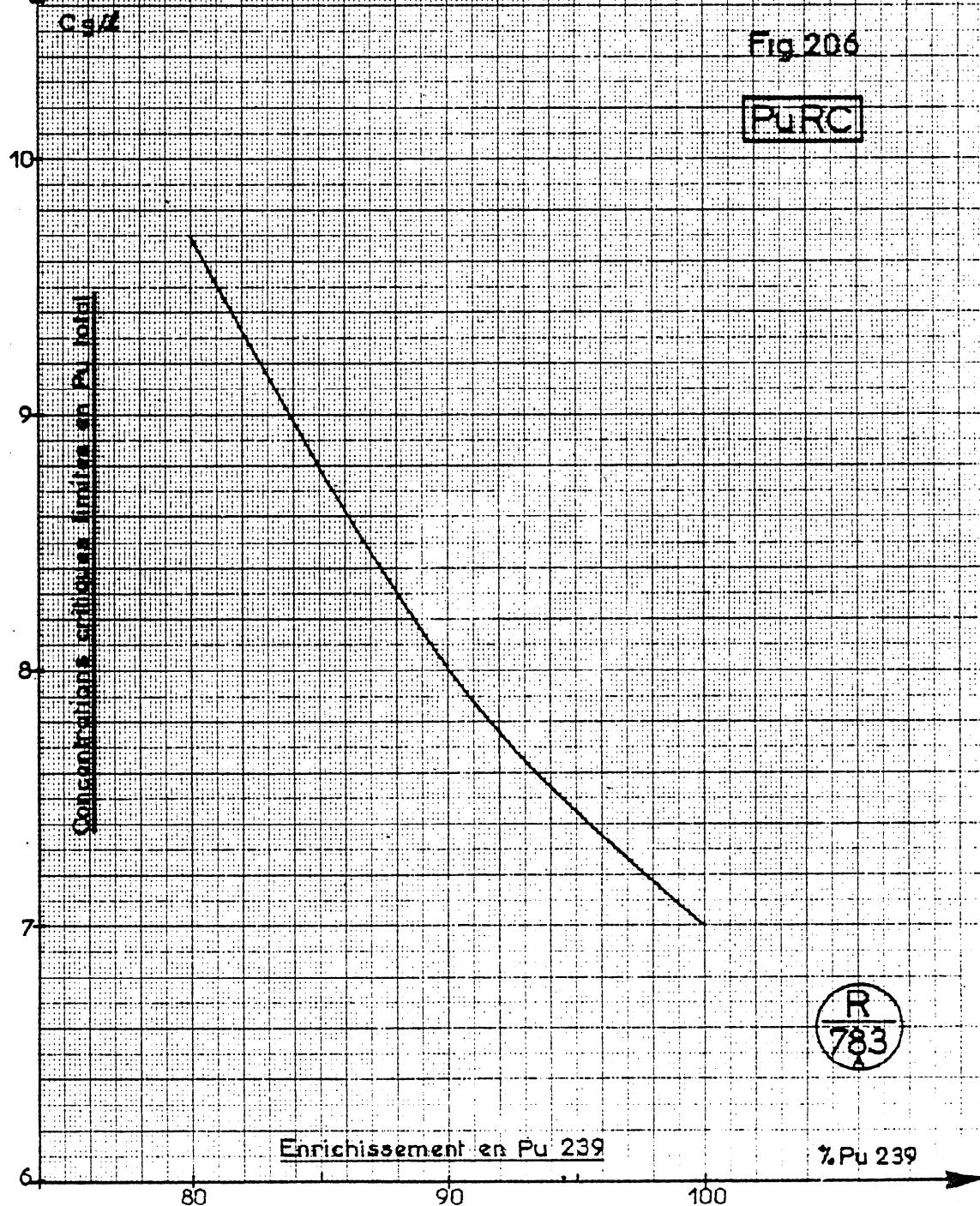
PURM

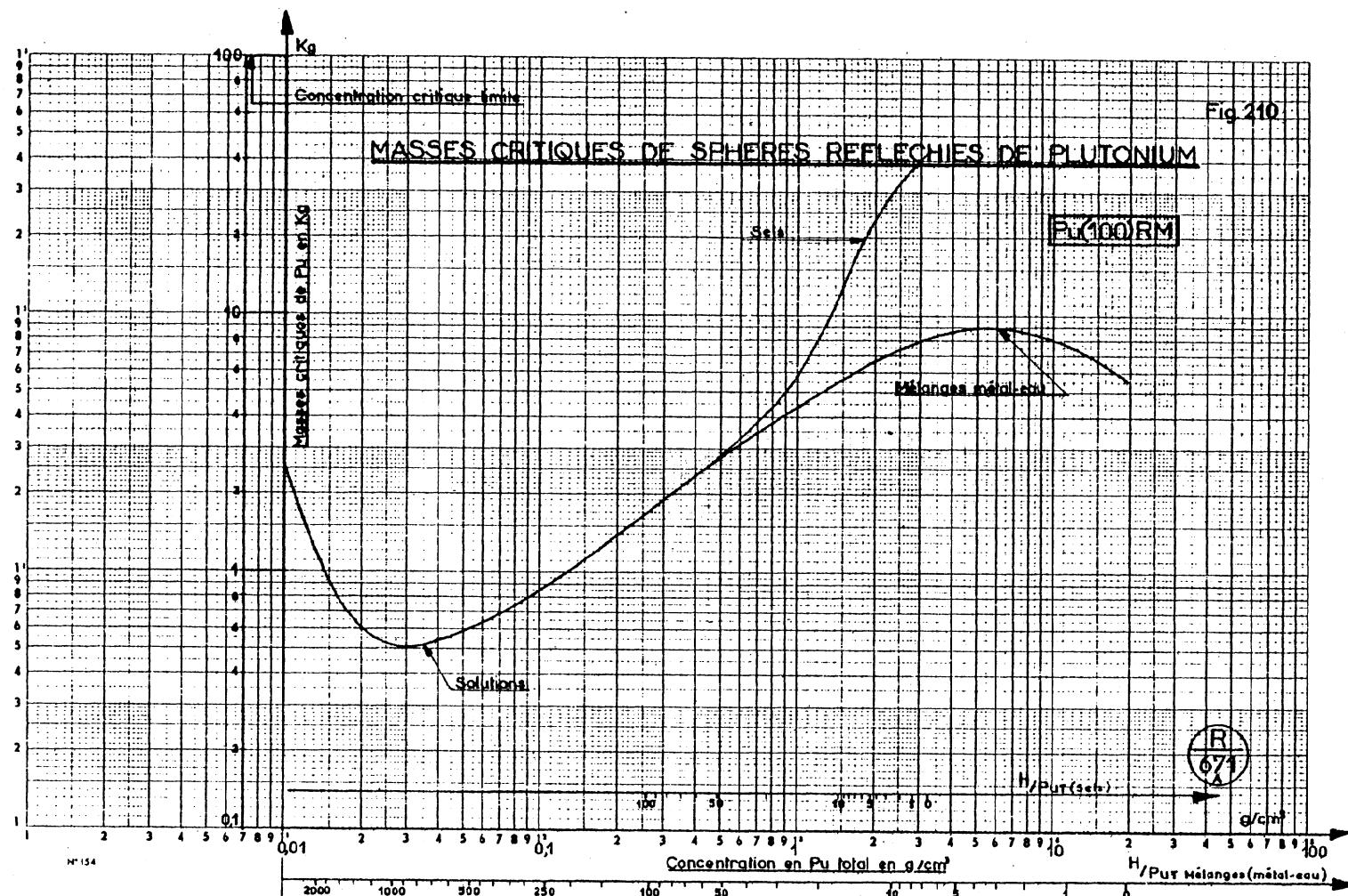


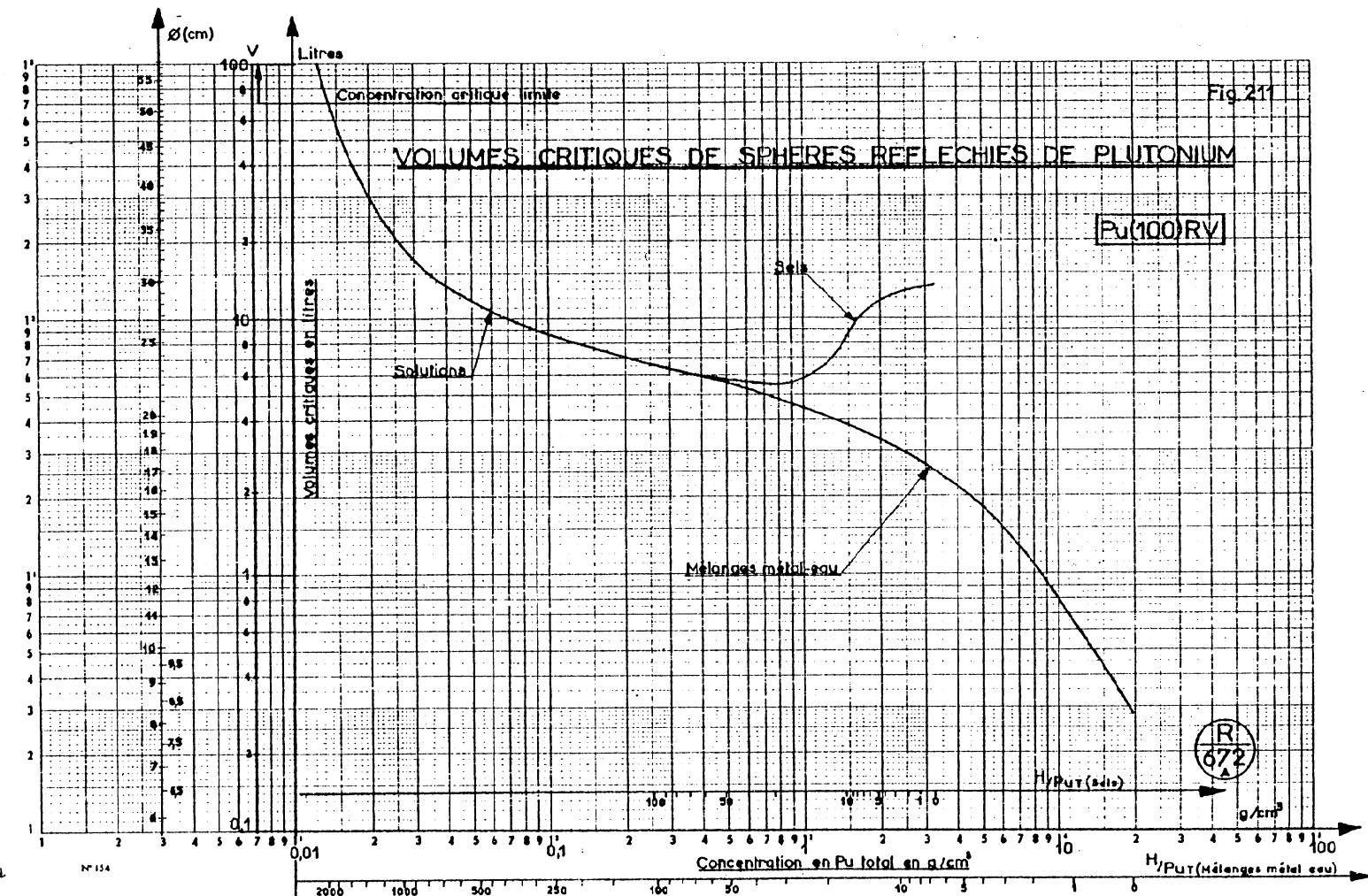
**DIAMETRES CRITIQUES MINIMA DE CYLINDRES
INFINIS REFLECHIS DE PLUTONIUM**

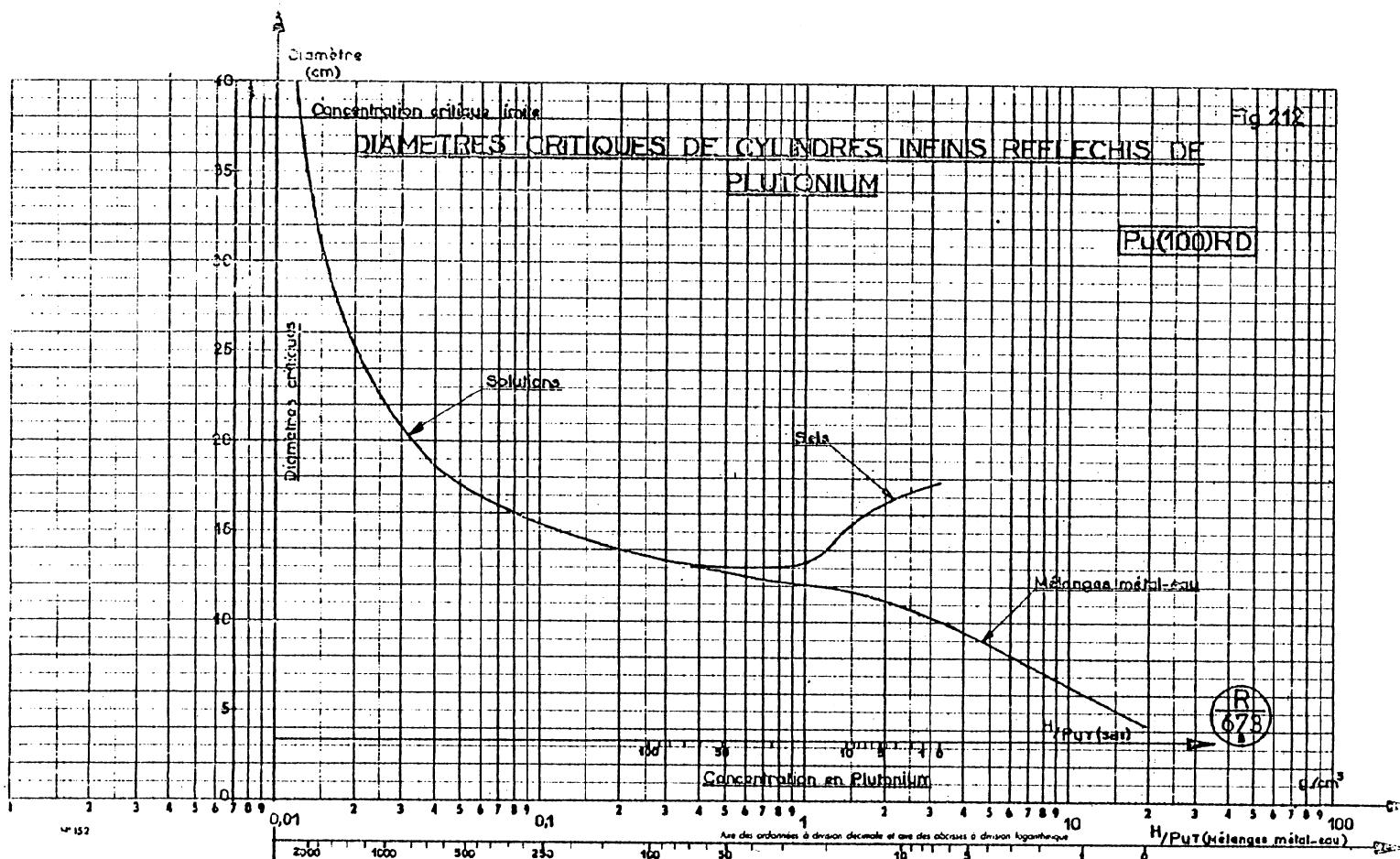


CONCENTRATIONS CRITIQUES LIMITES DU
PLUTONIUM









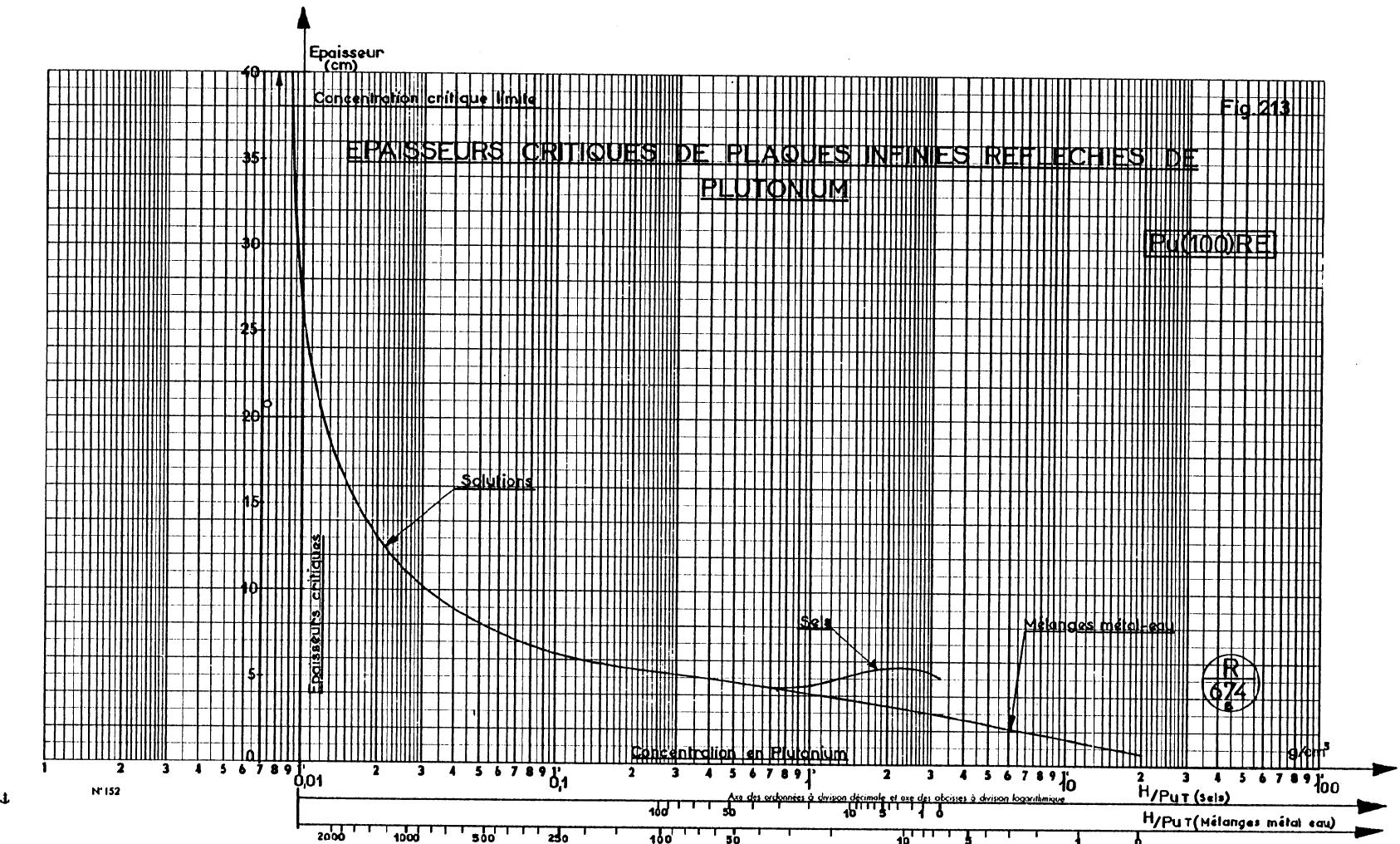


Fig 213

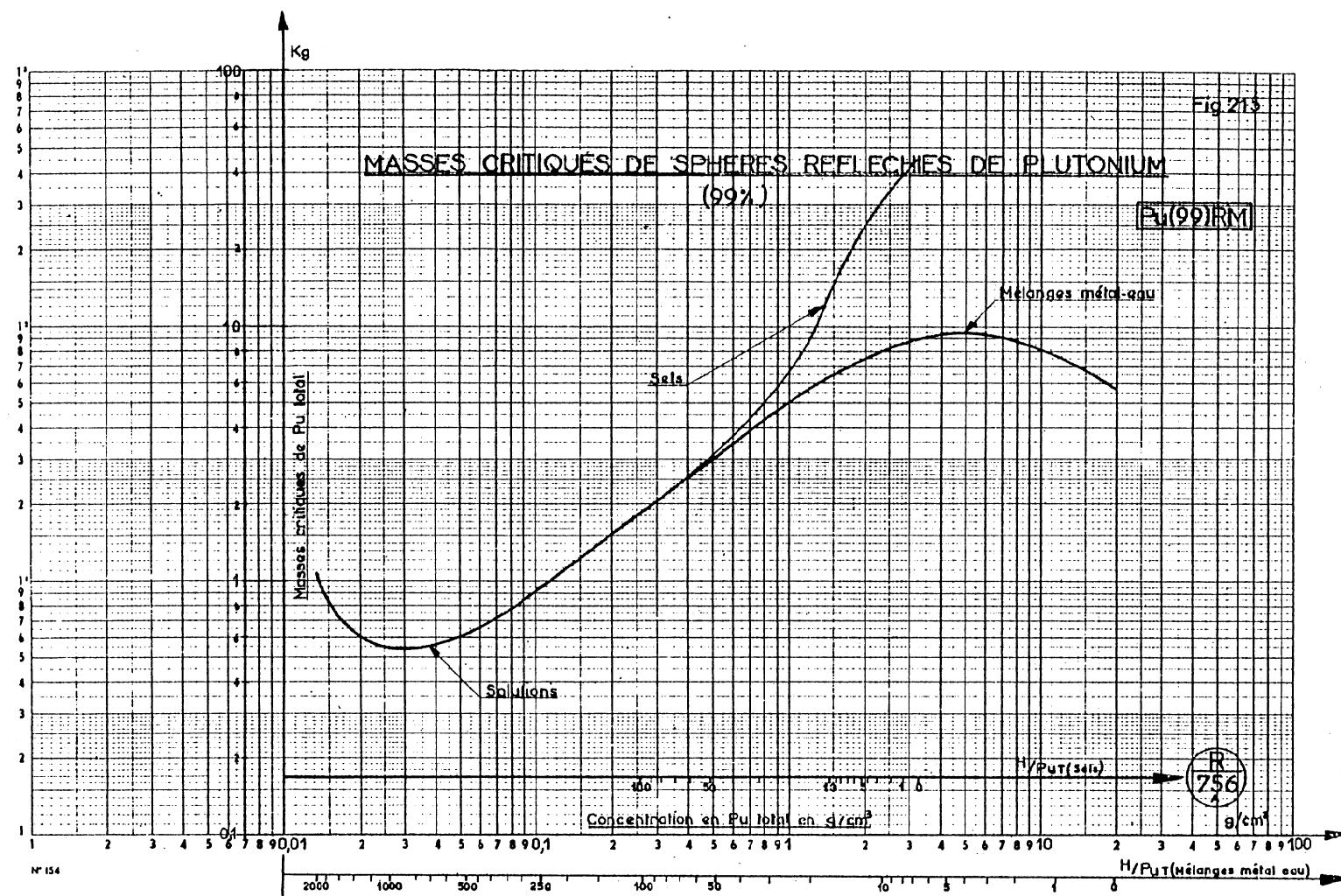
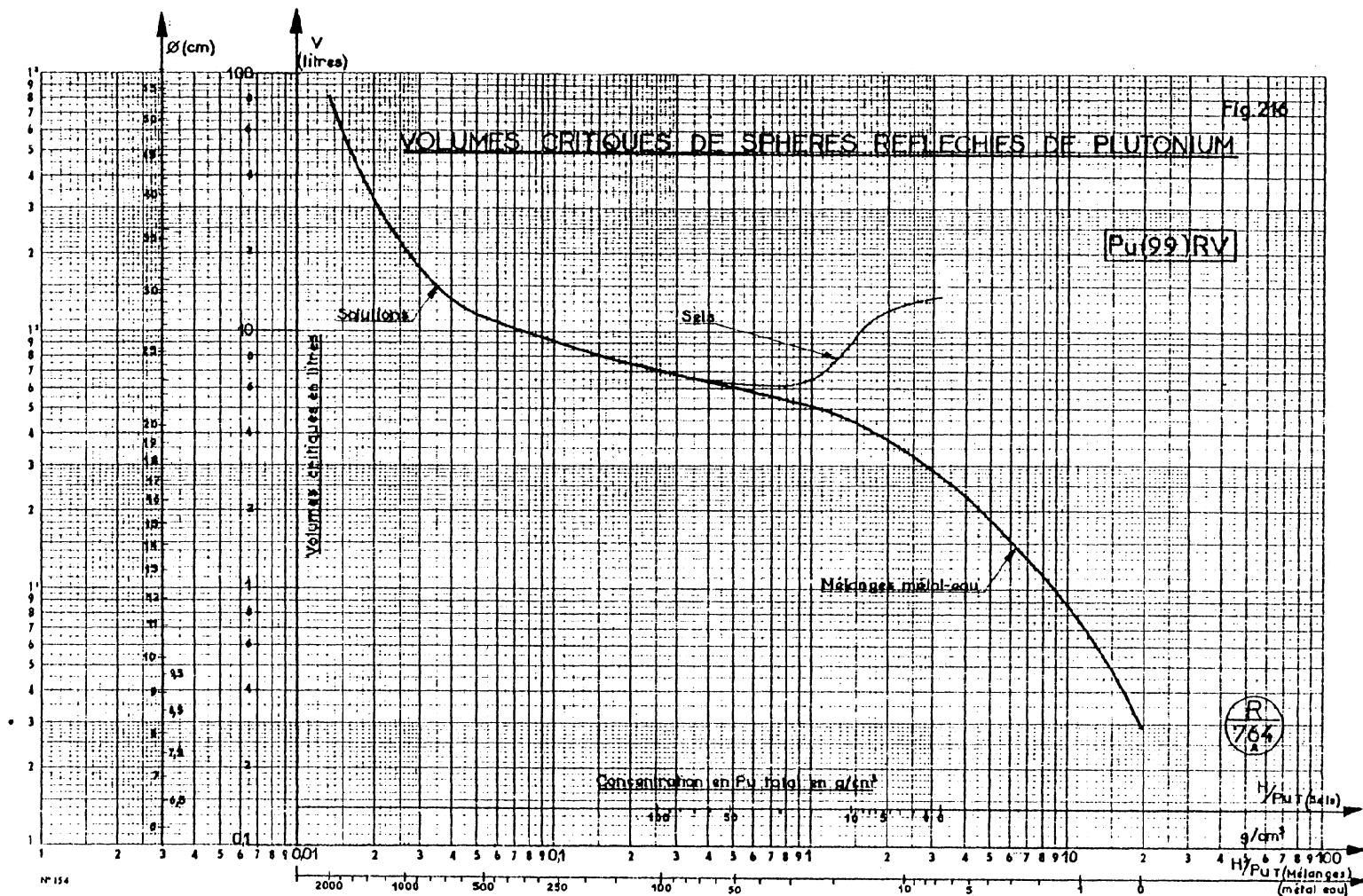


Fig. 216



N° 154

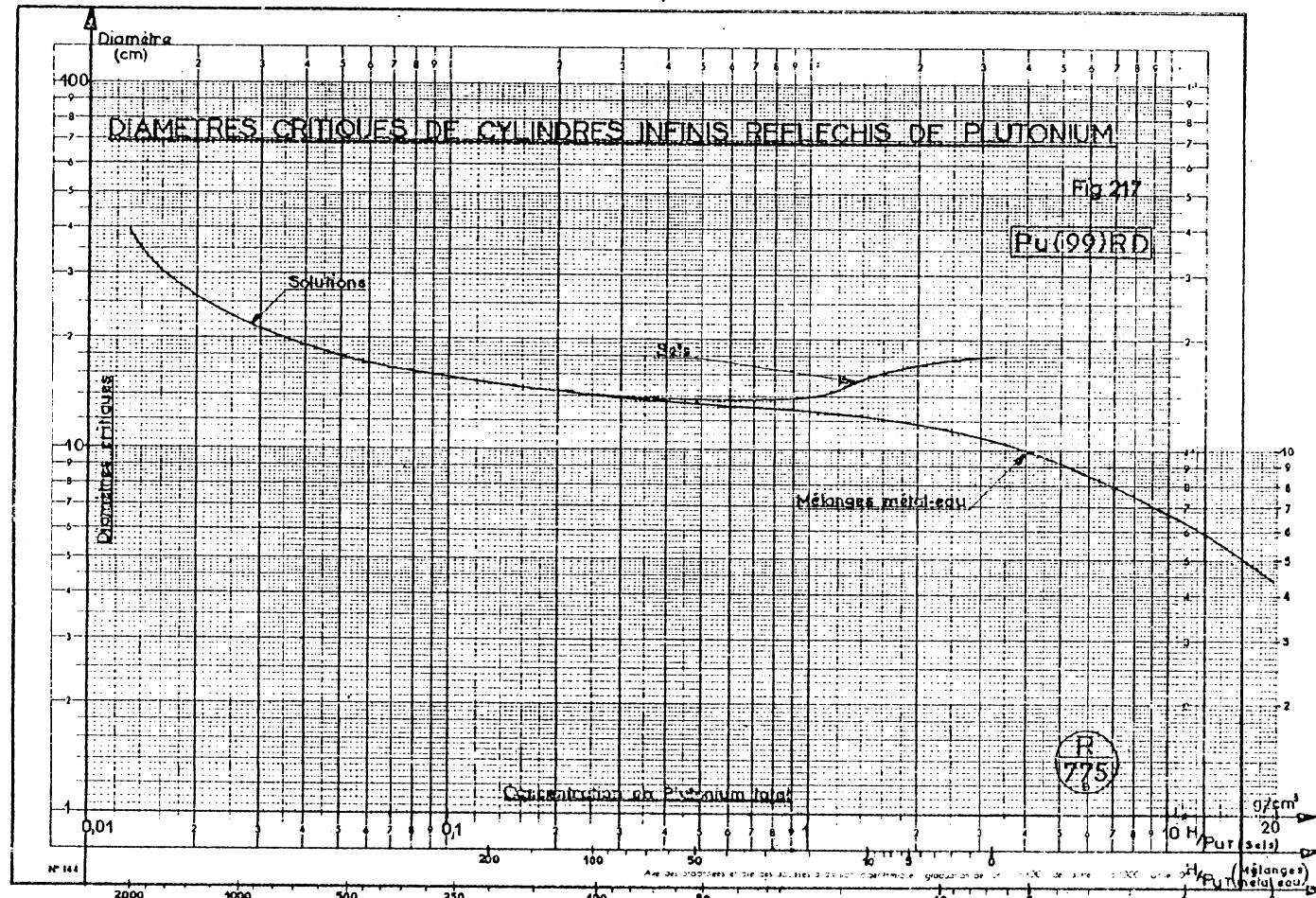
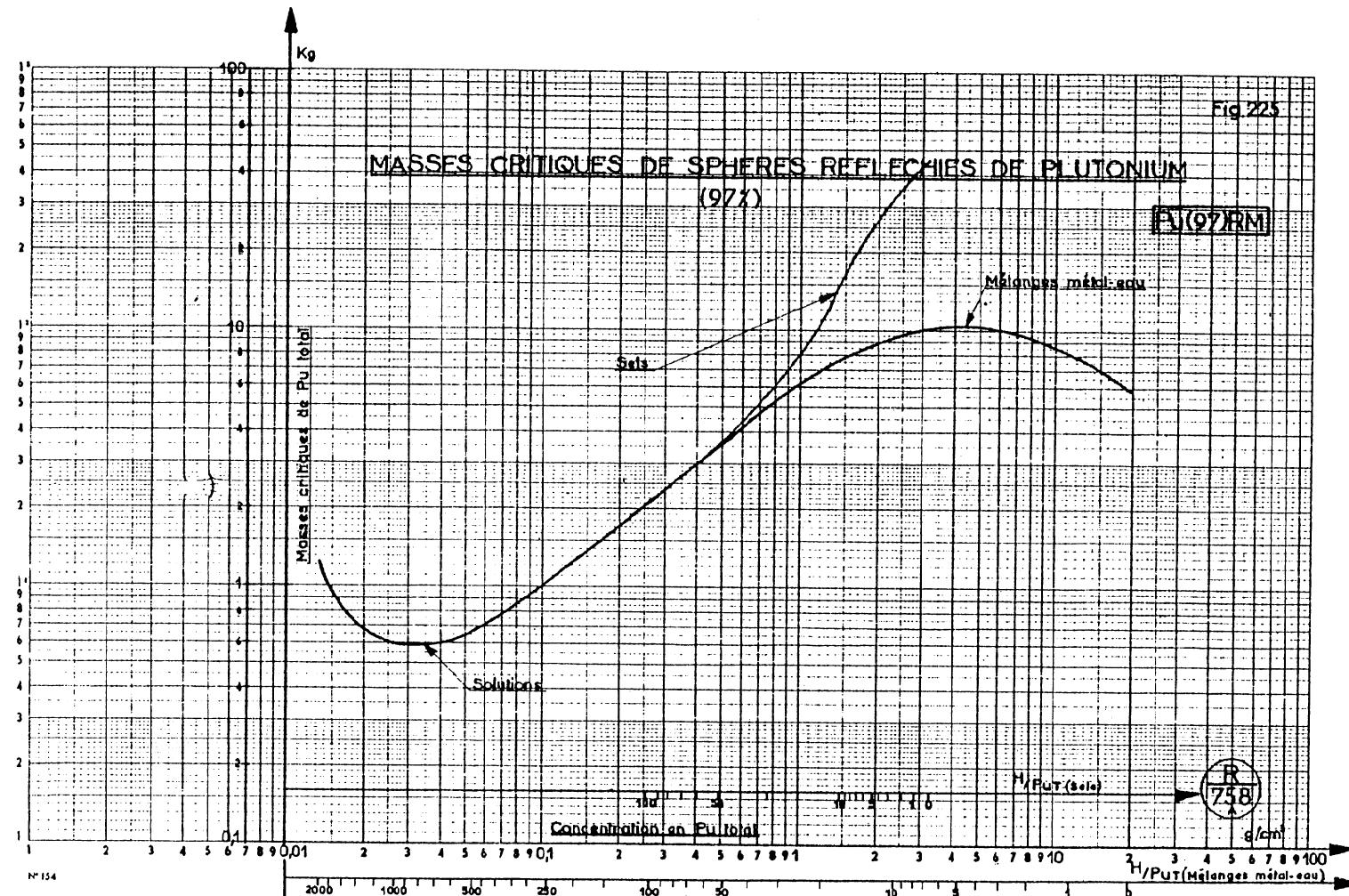
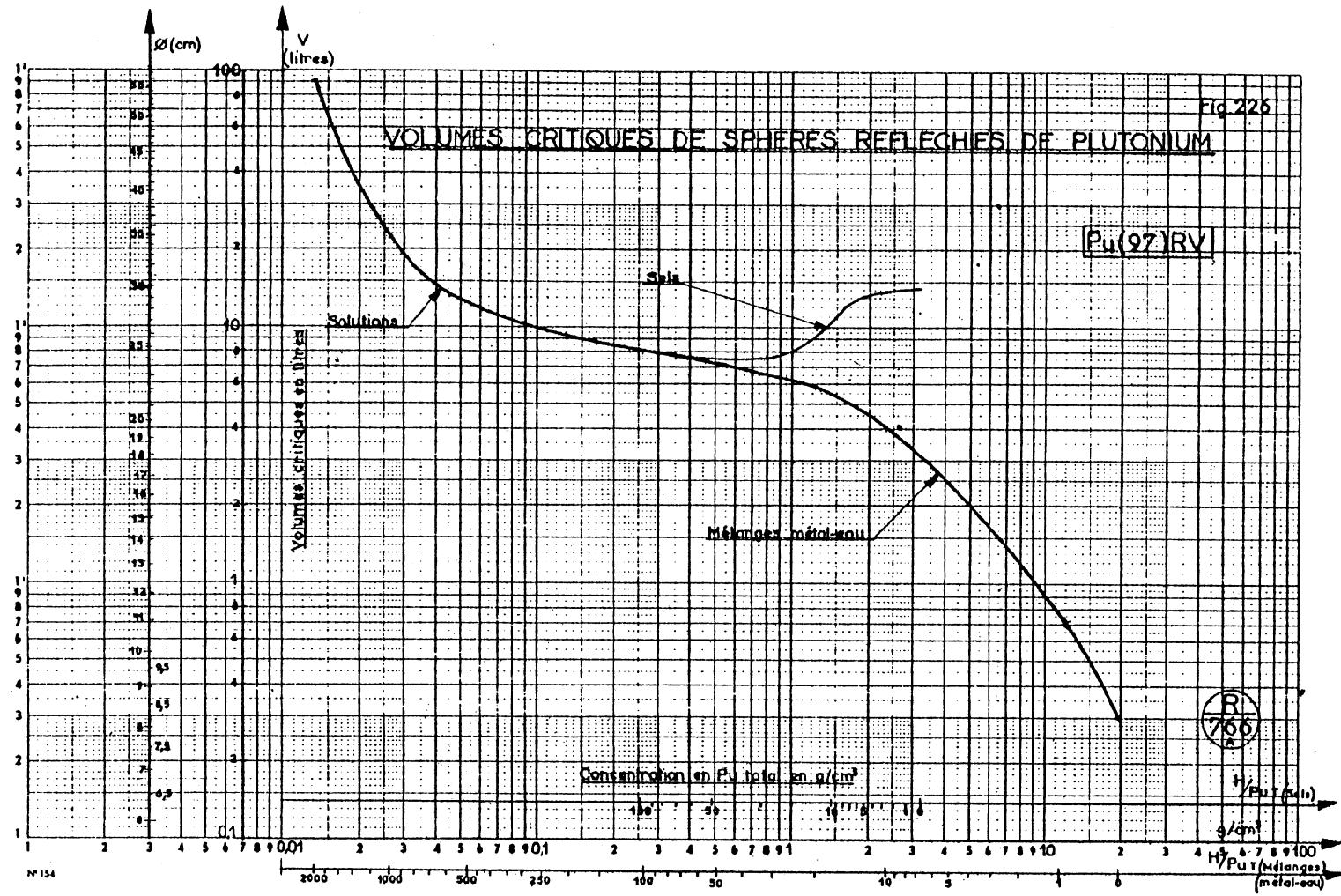
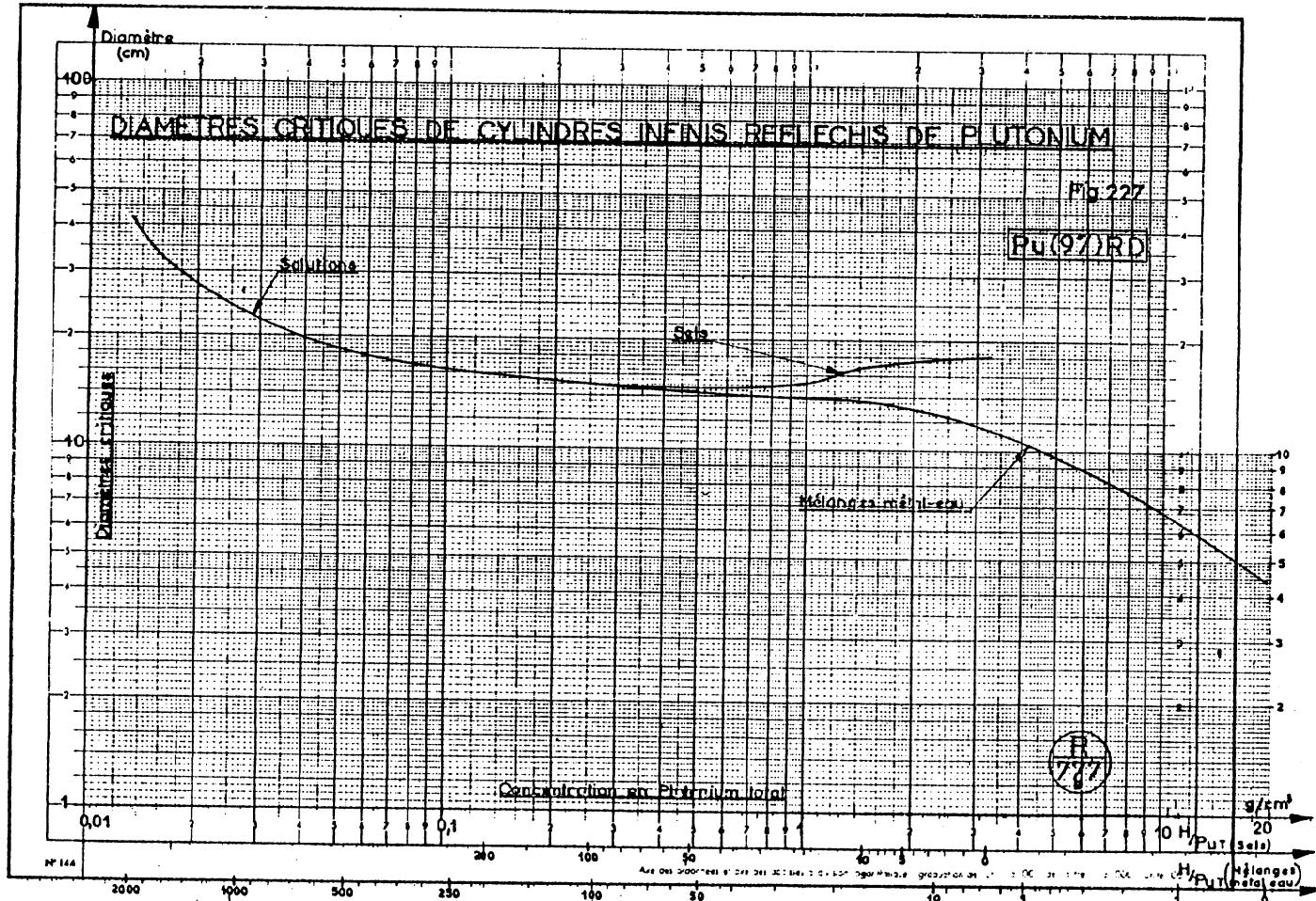
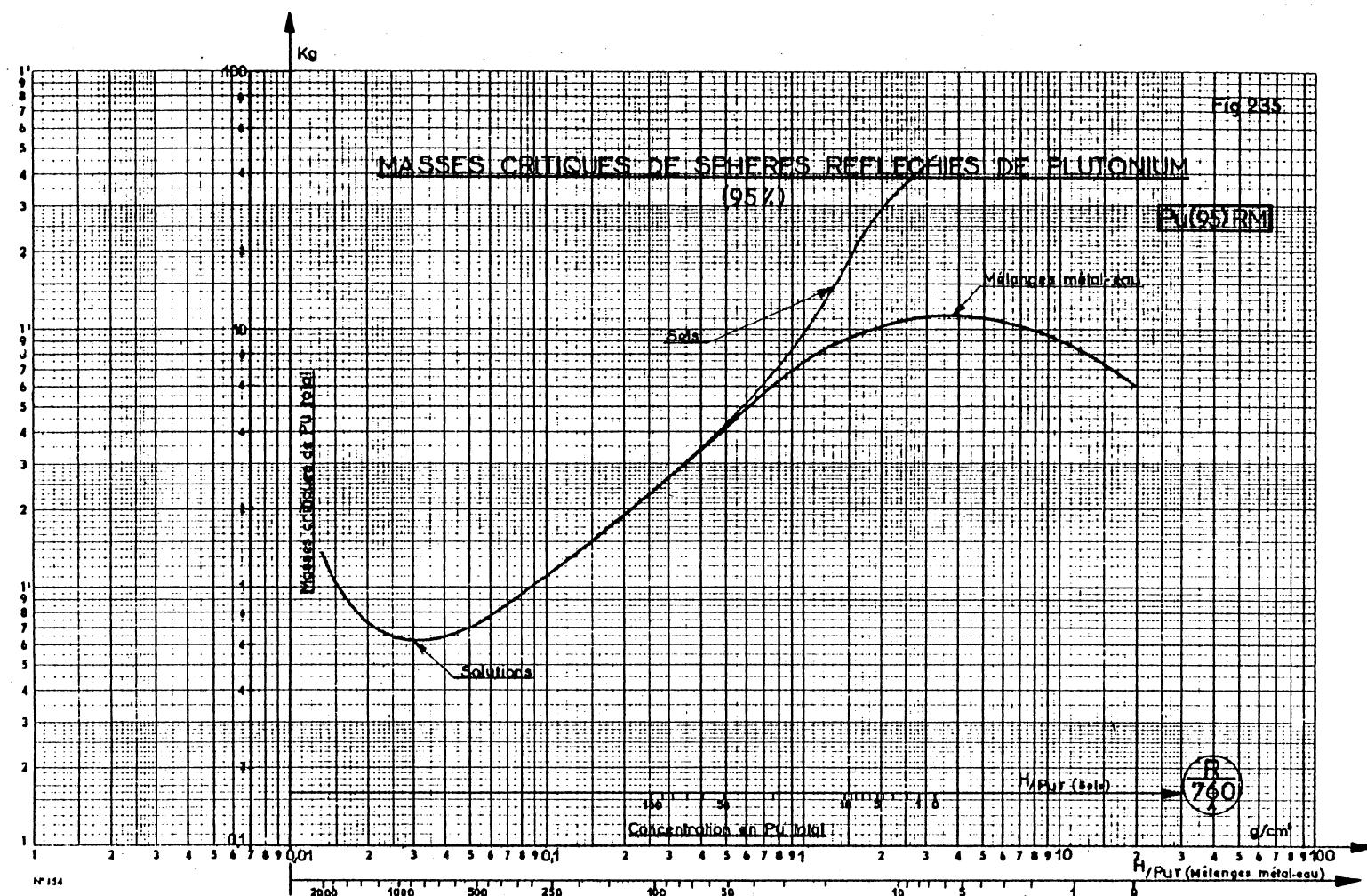


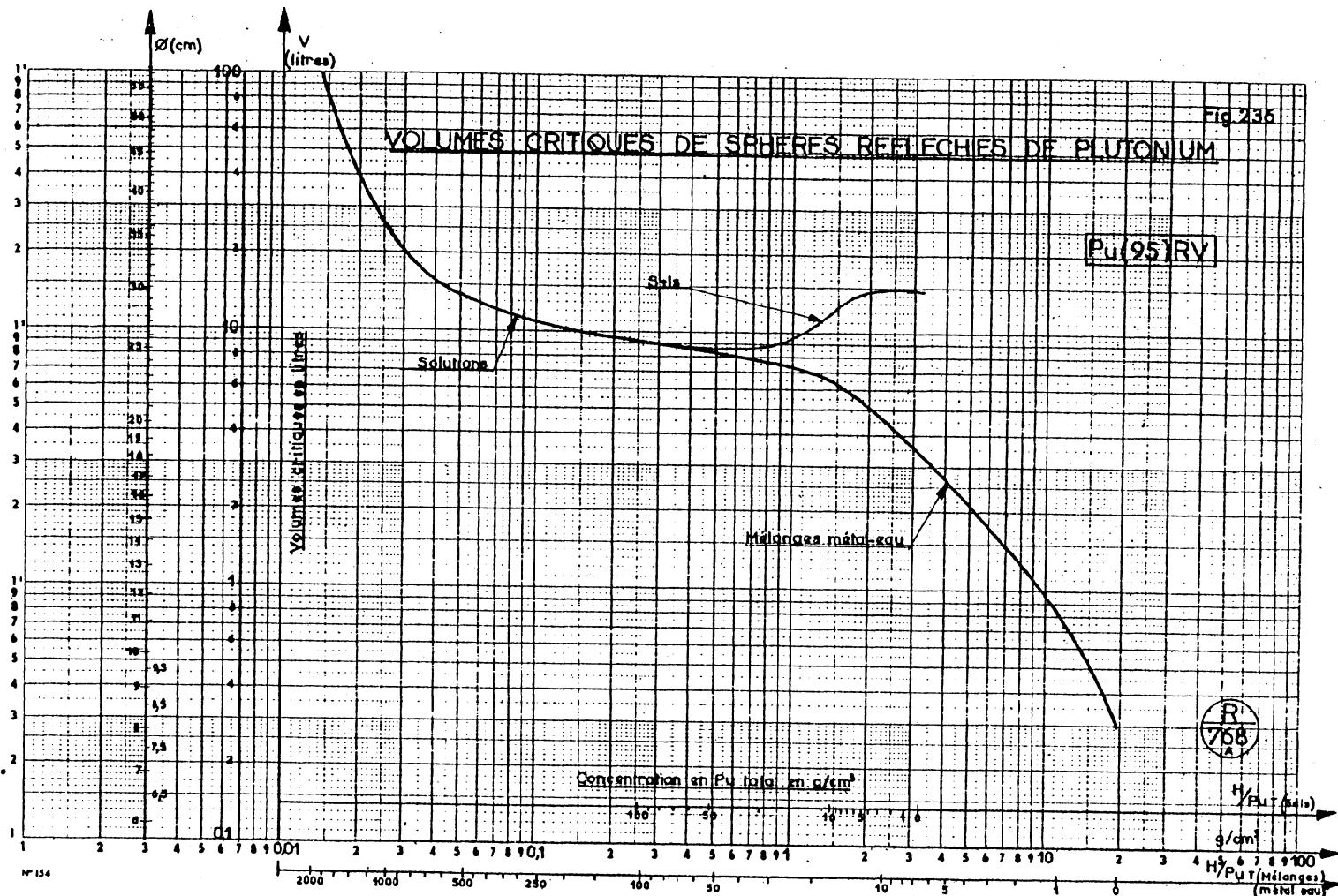
FIG 225











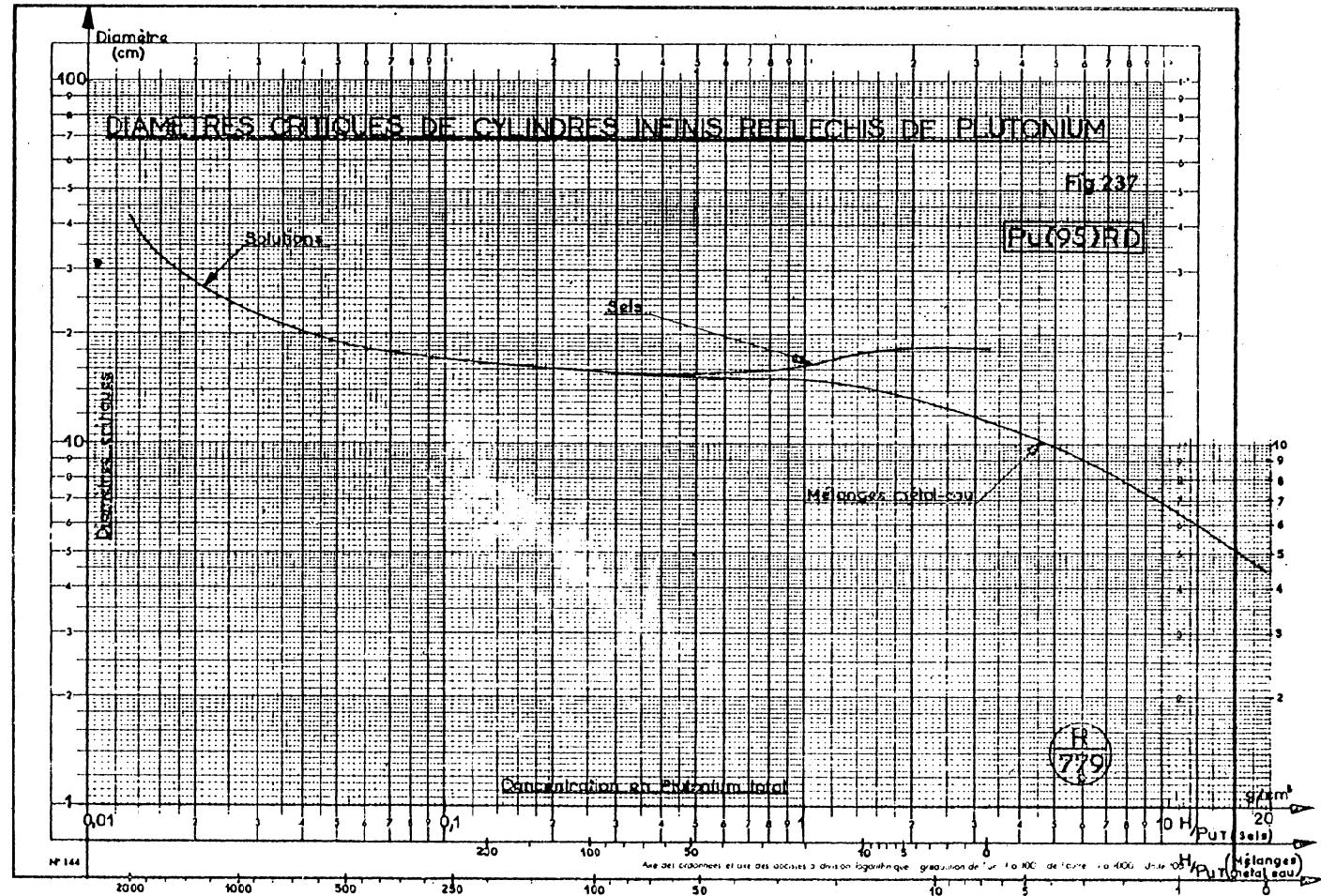


Fig 240

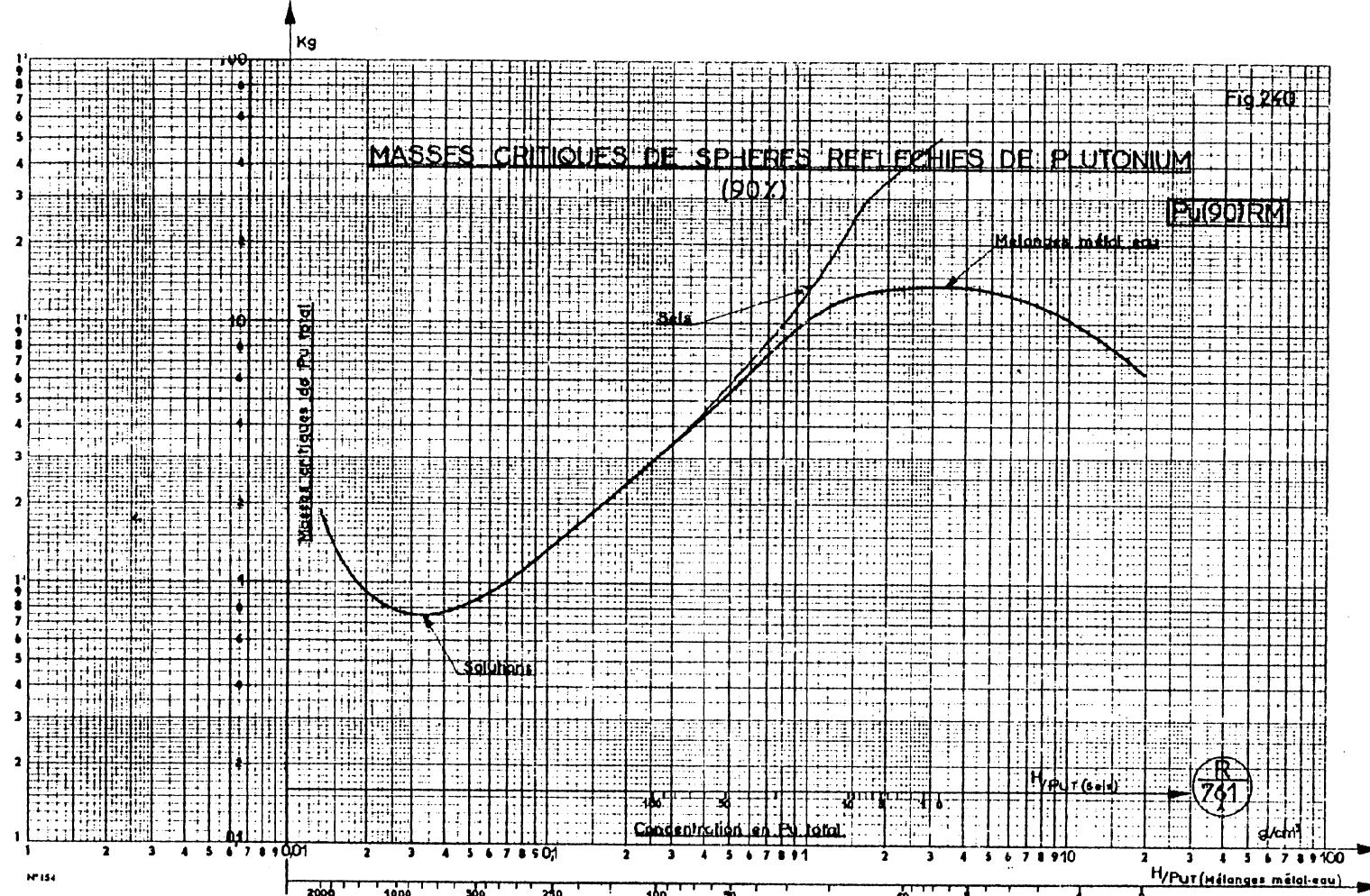
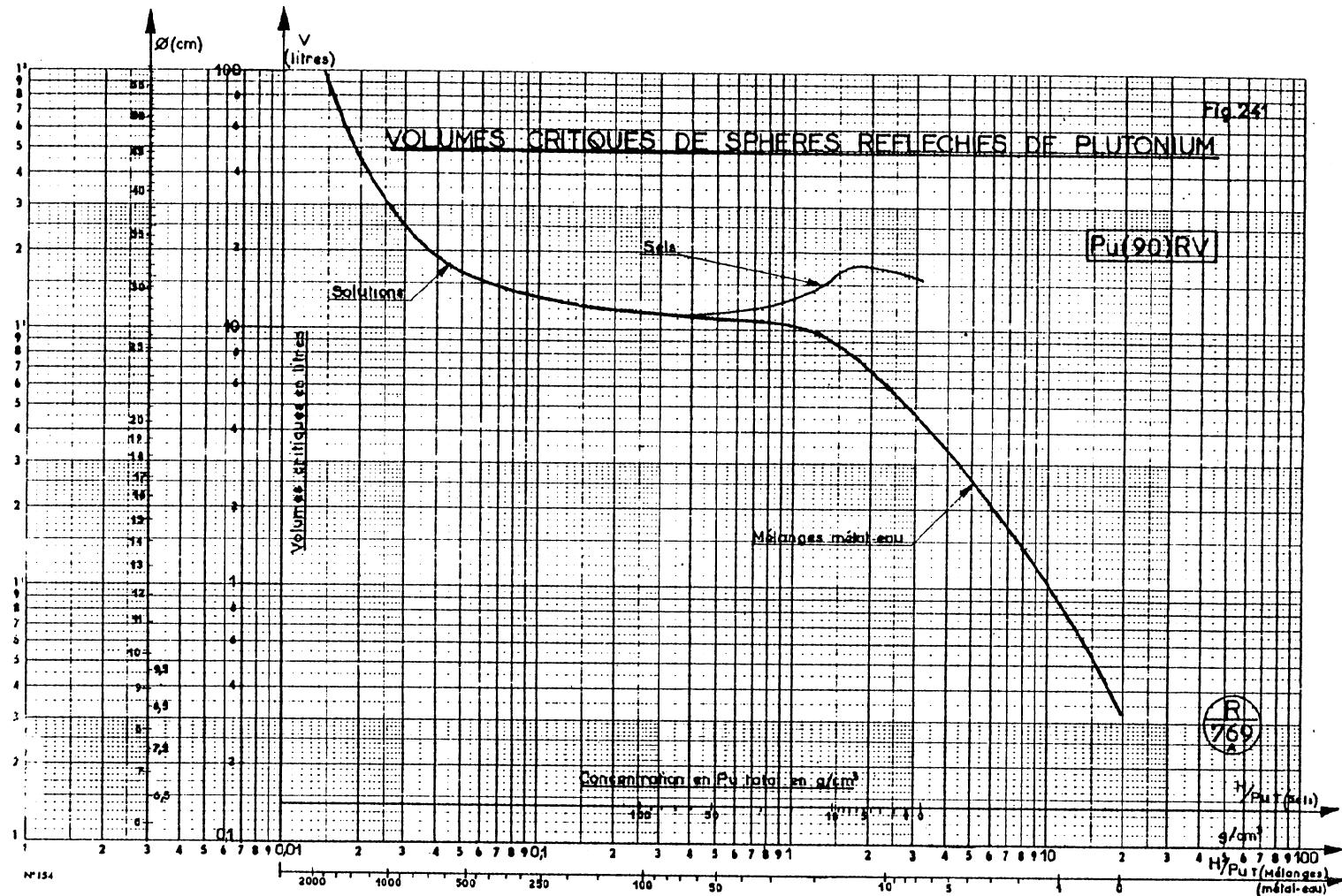


Fig 24



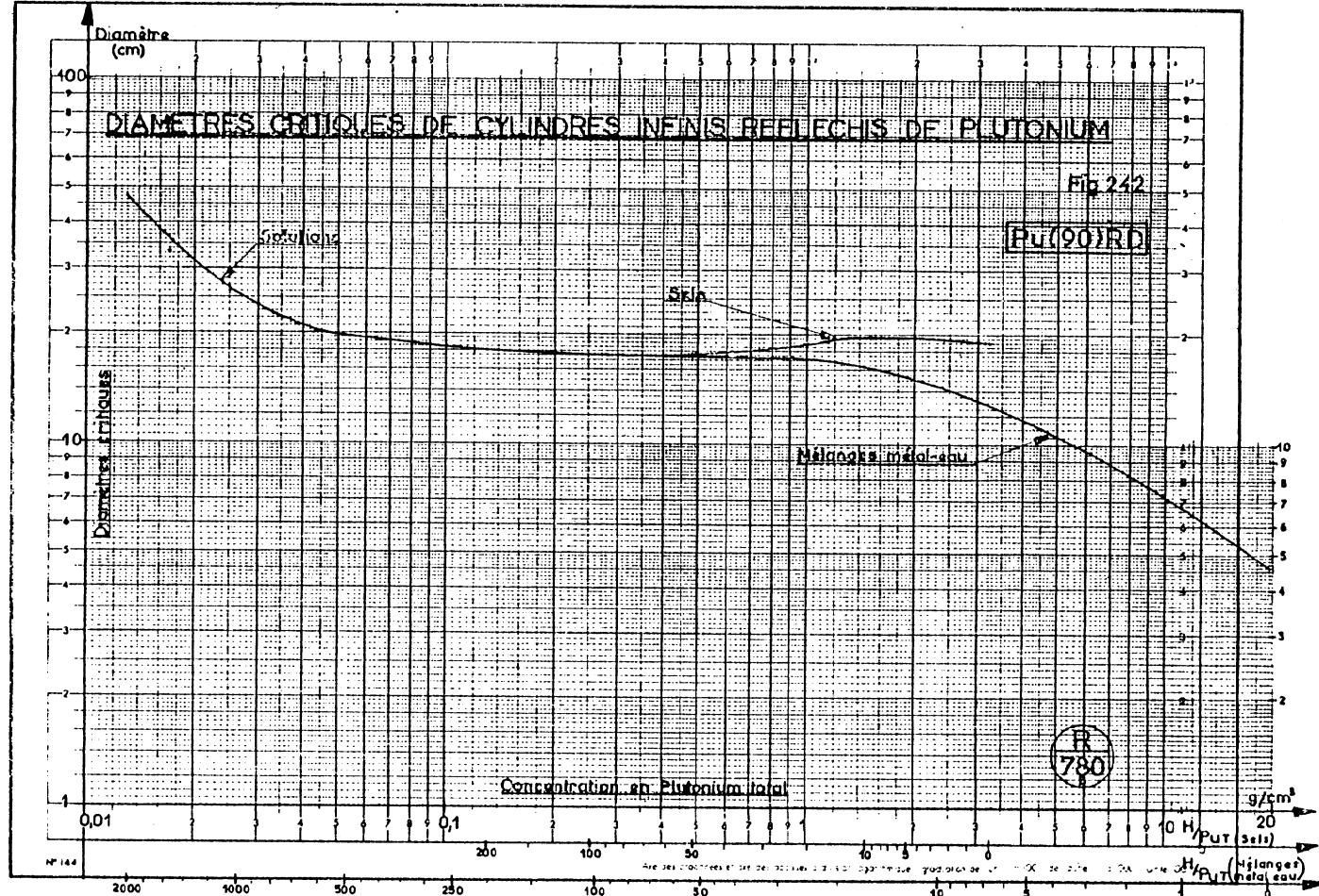


FIG 265

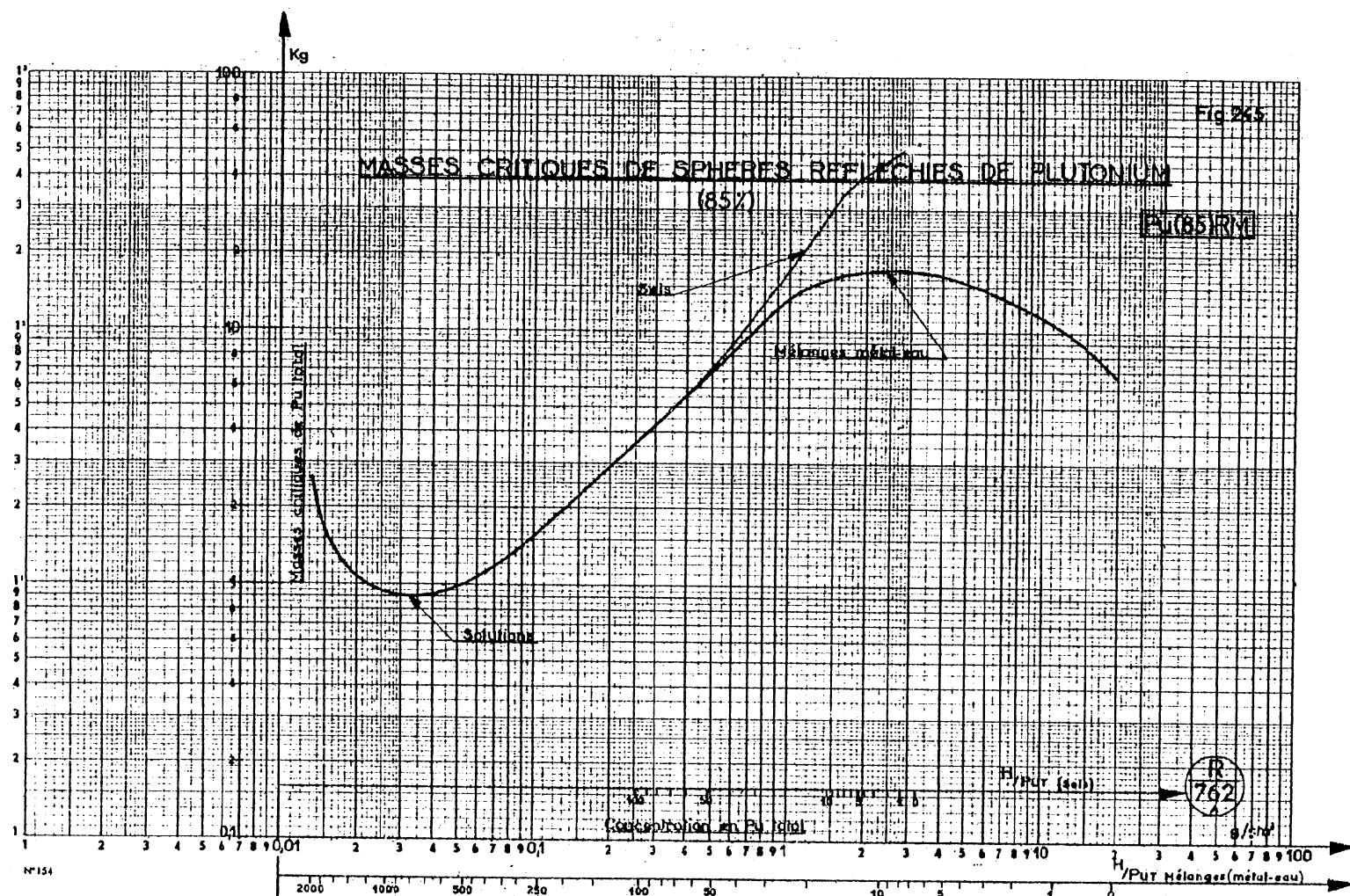
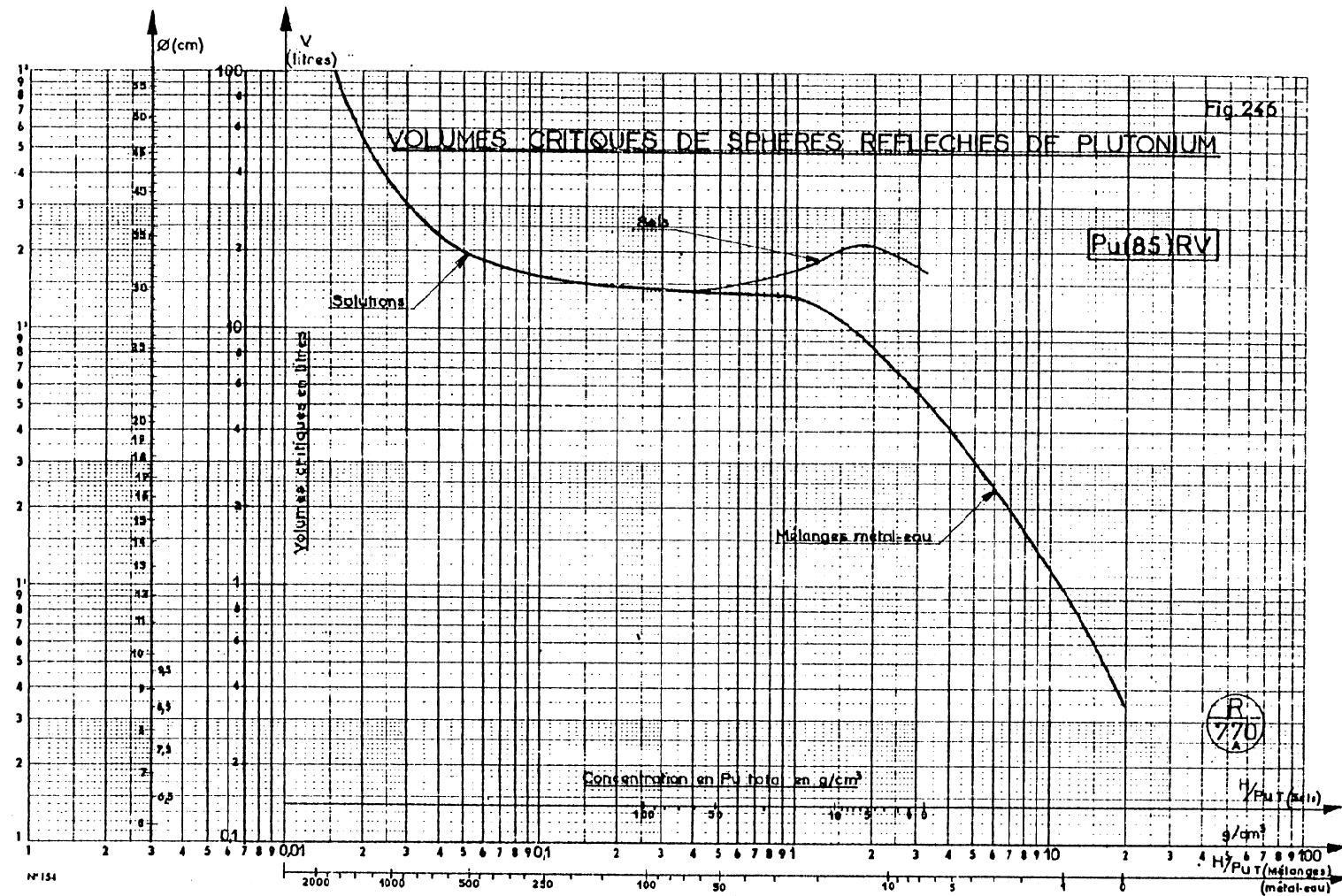


Fig 246



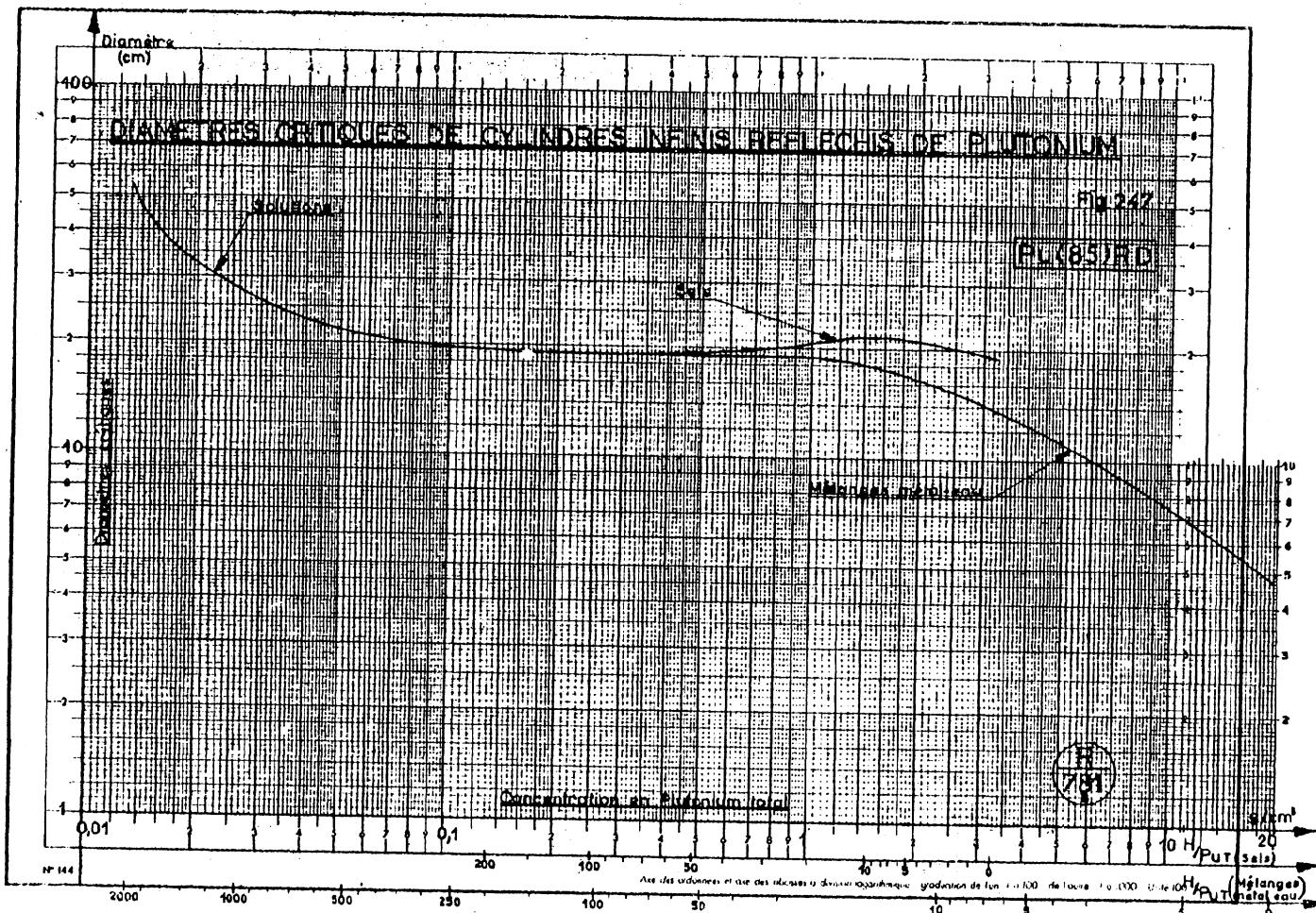


Fig. 250

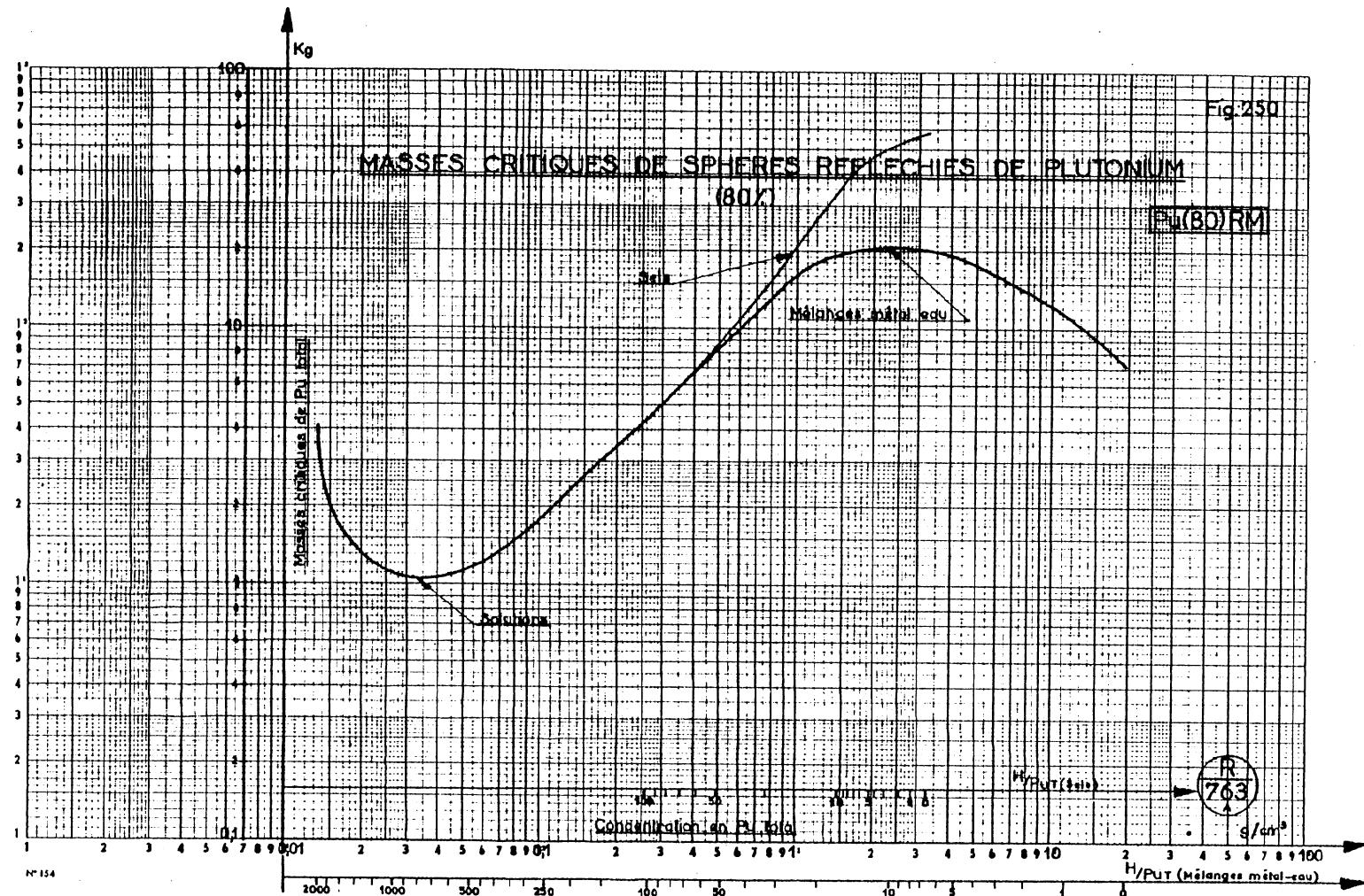
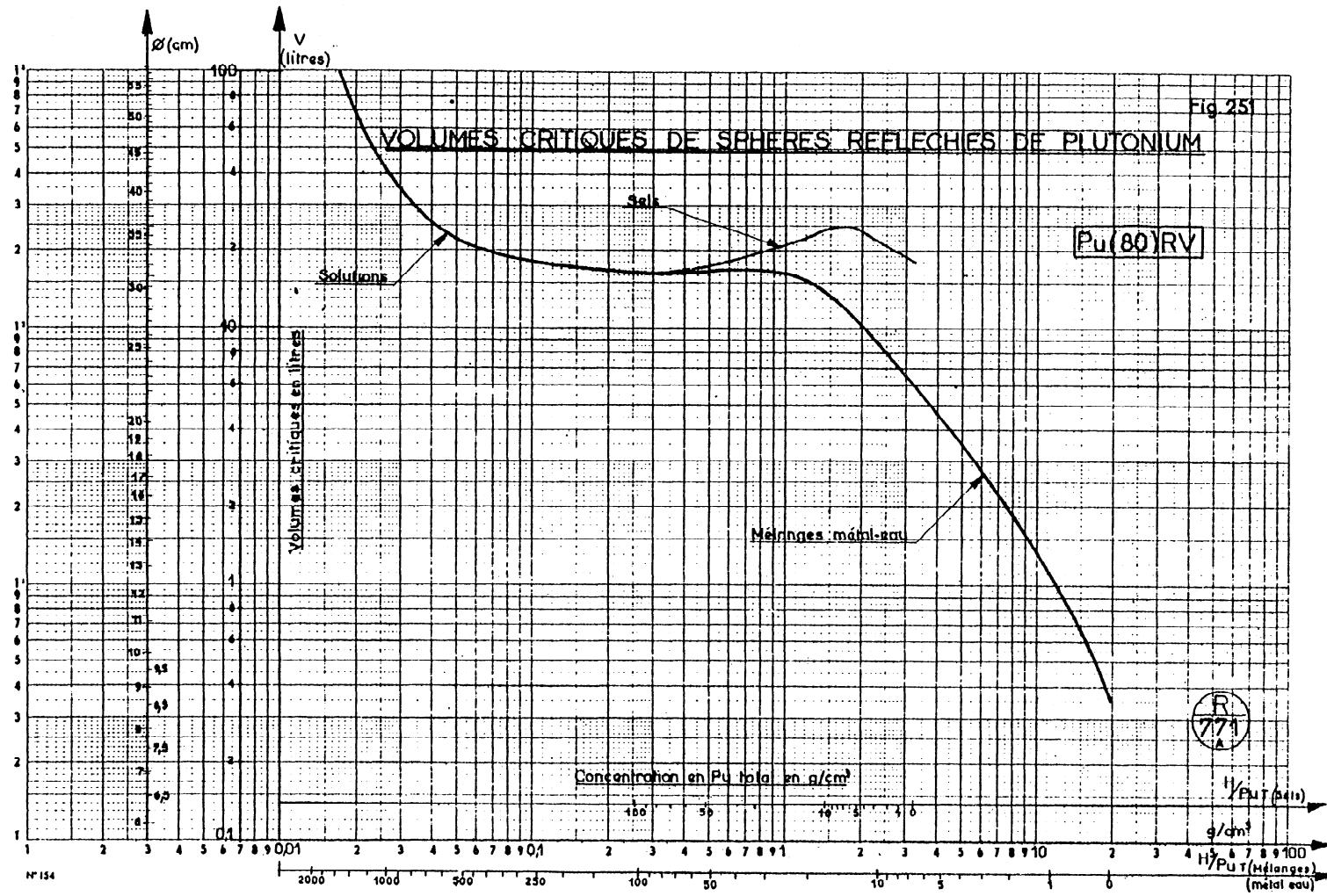
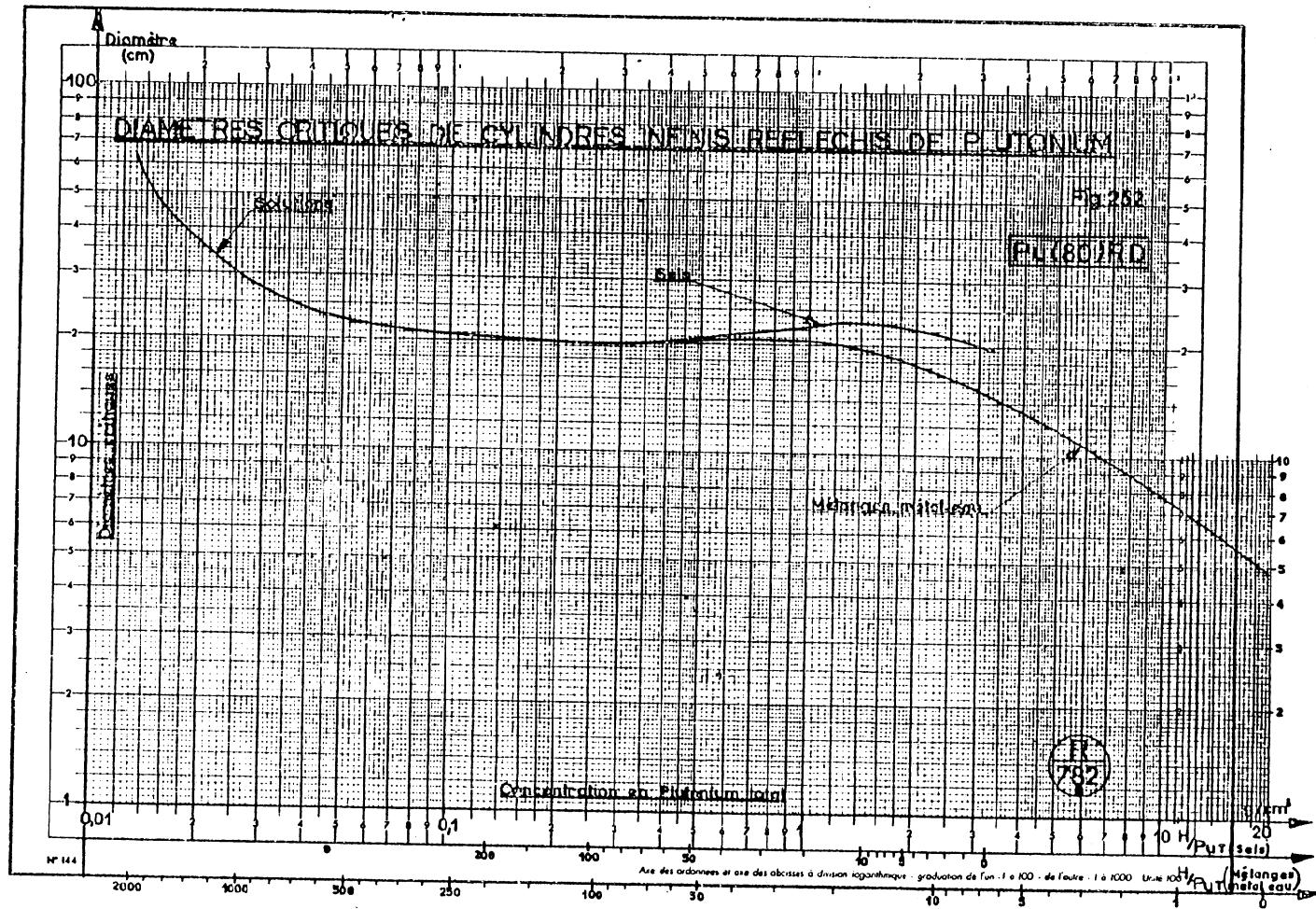
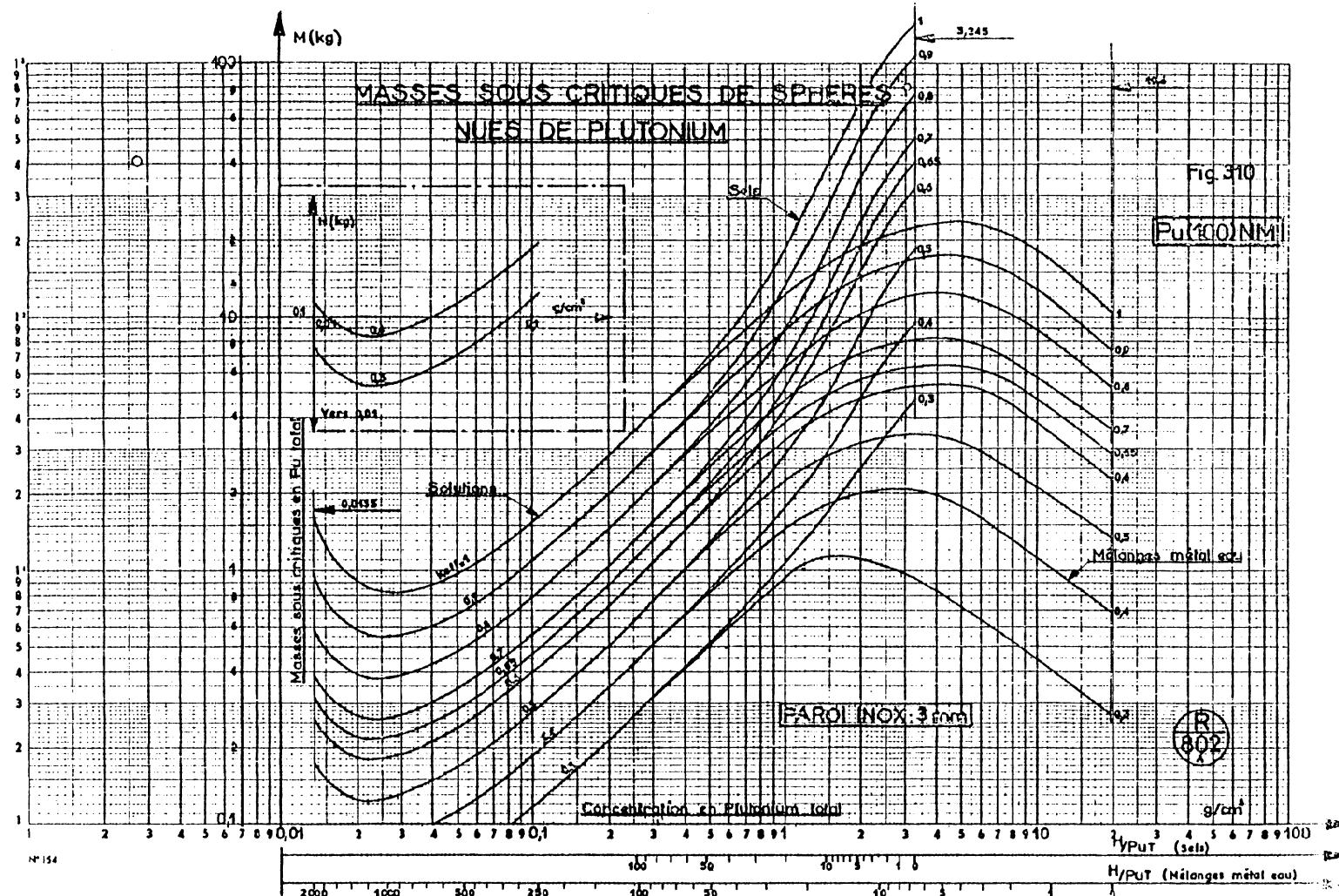
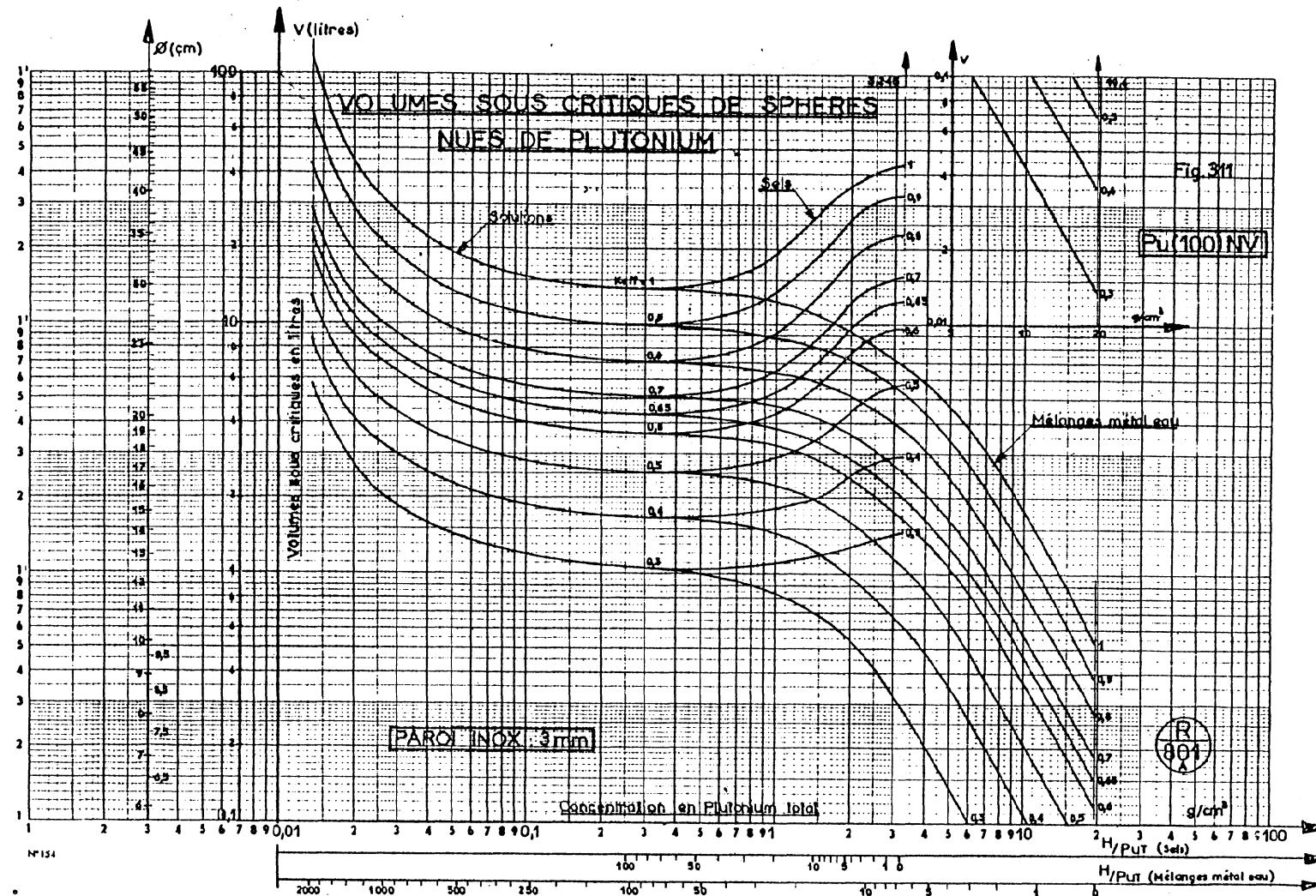


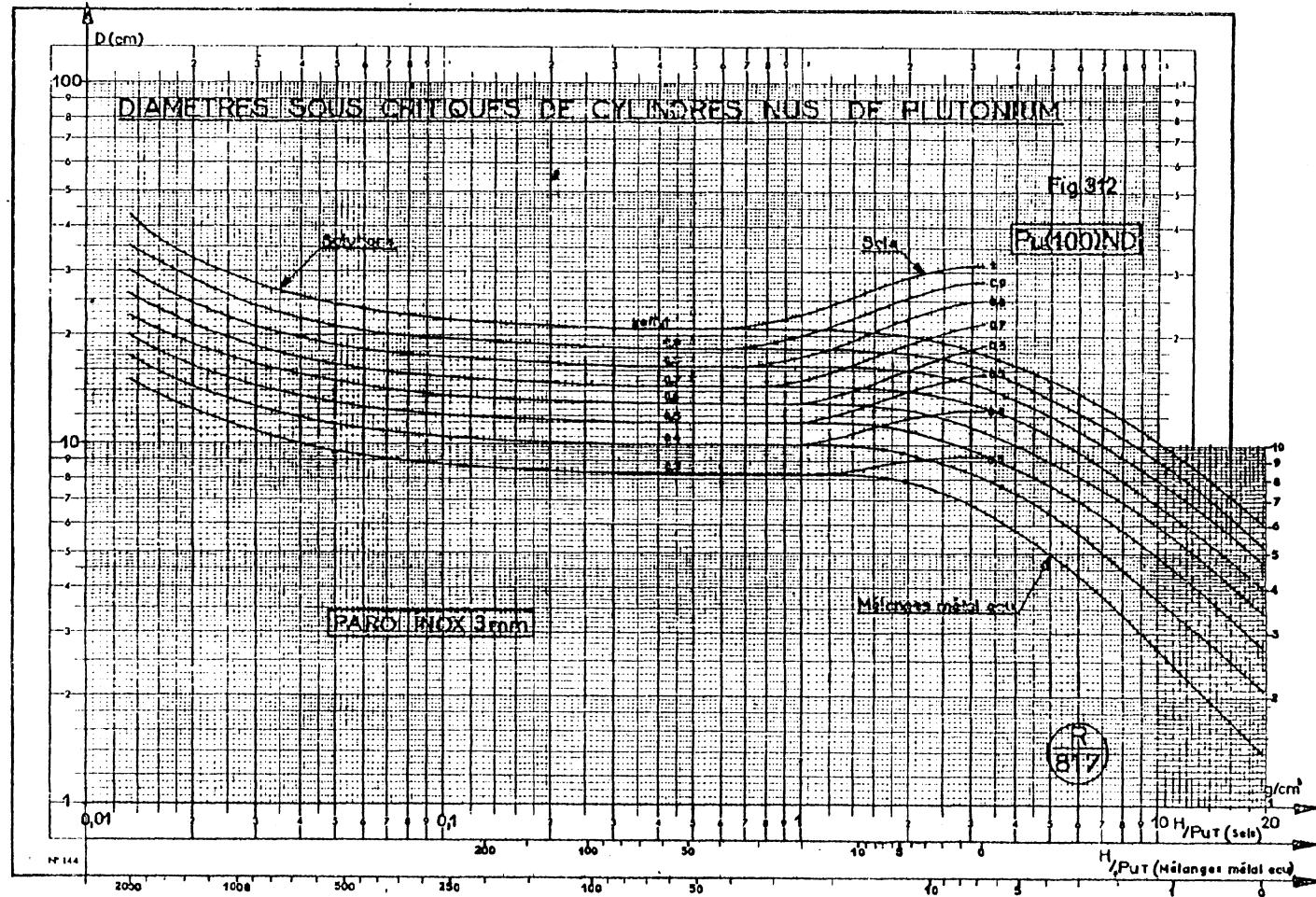
Fig 251

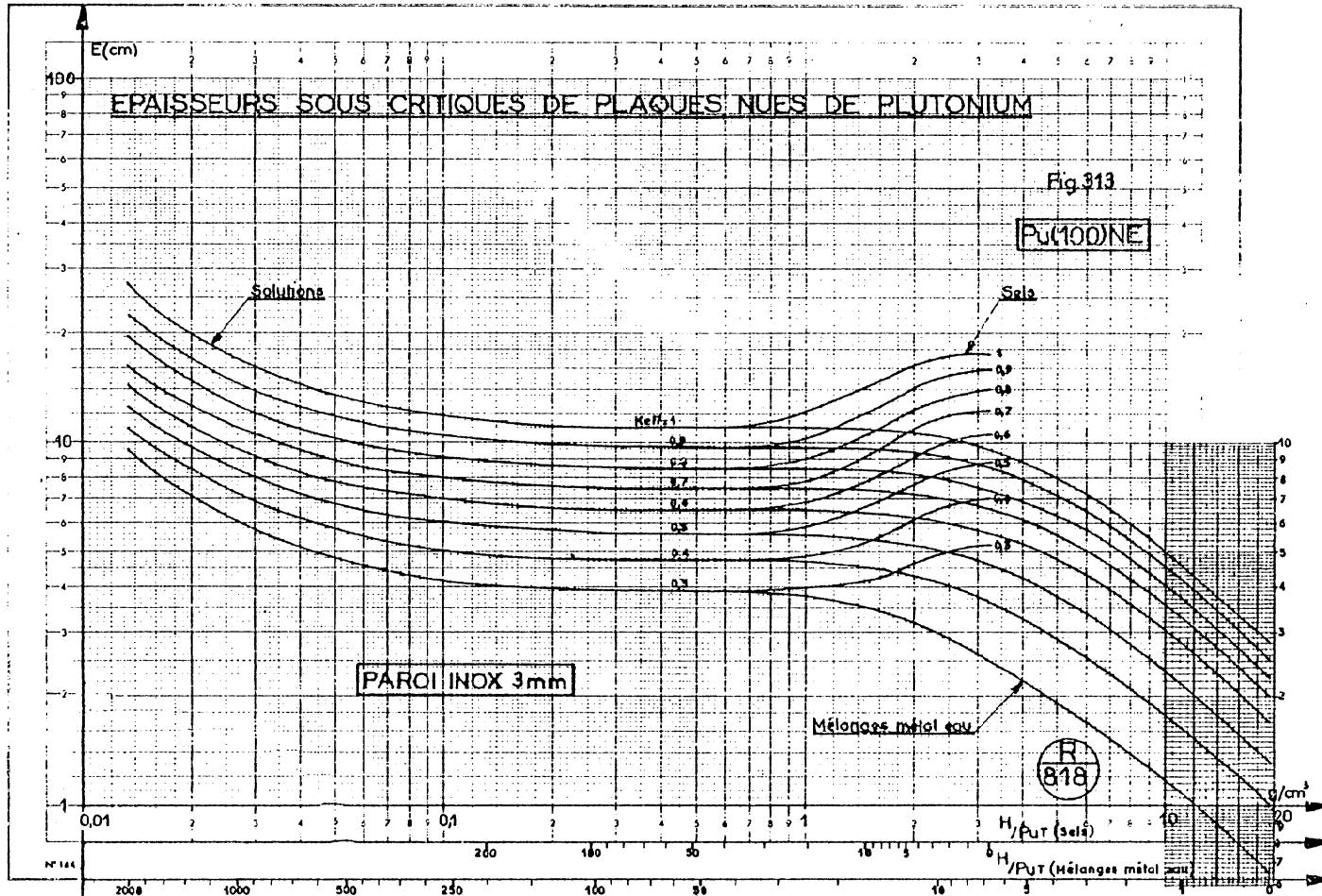




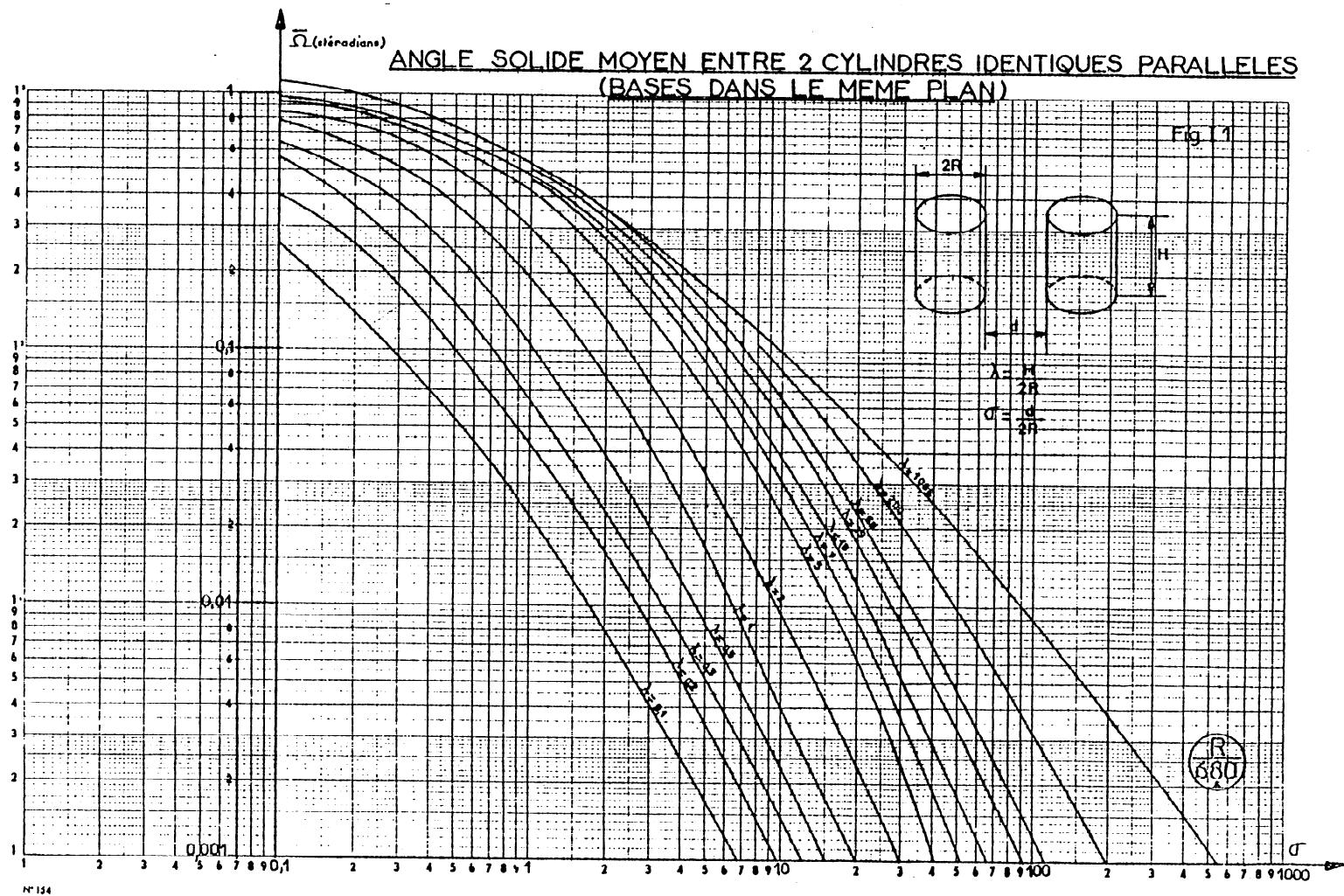


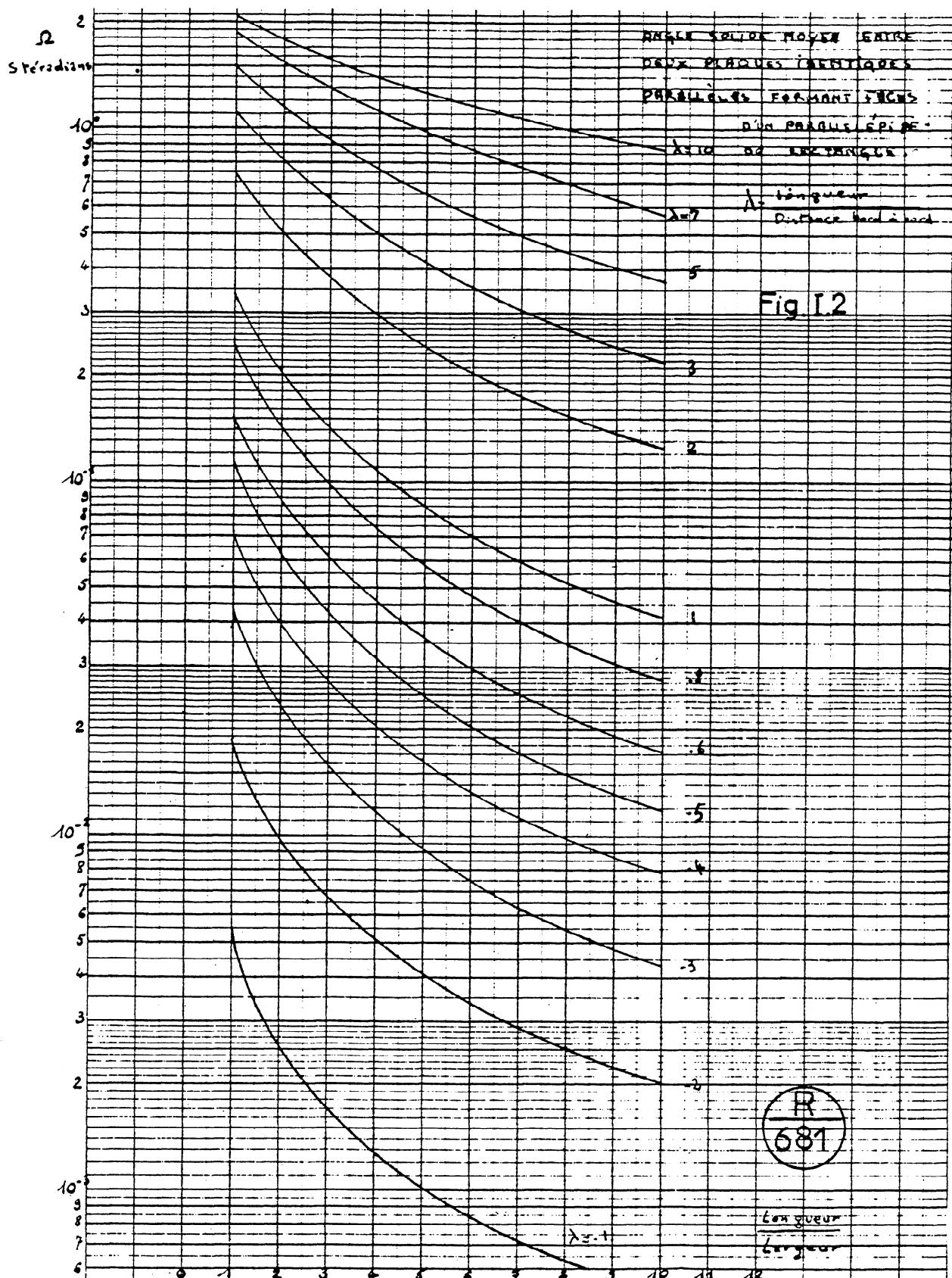






IV - Courbes des annexes





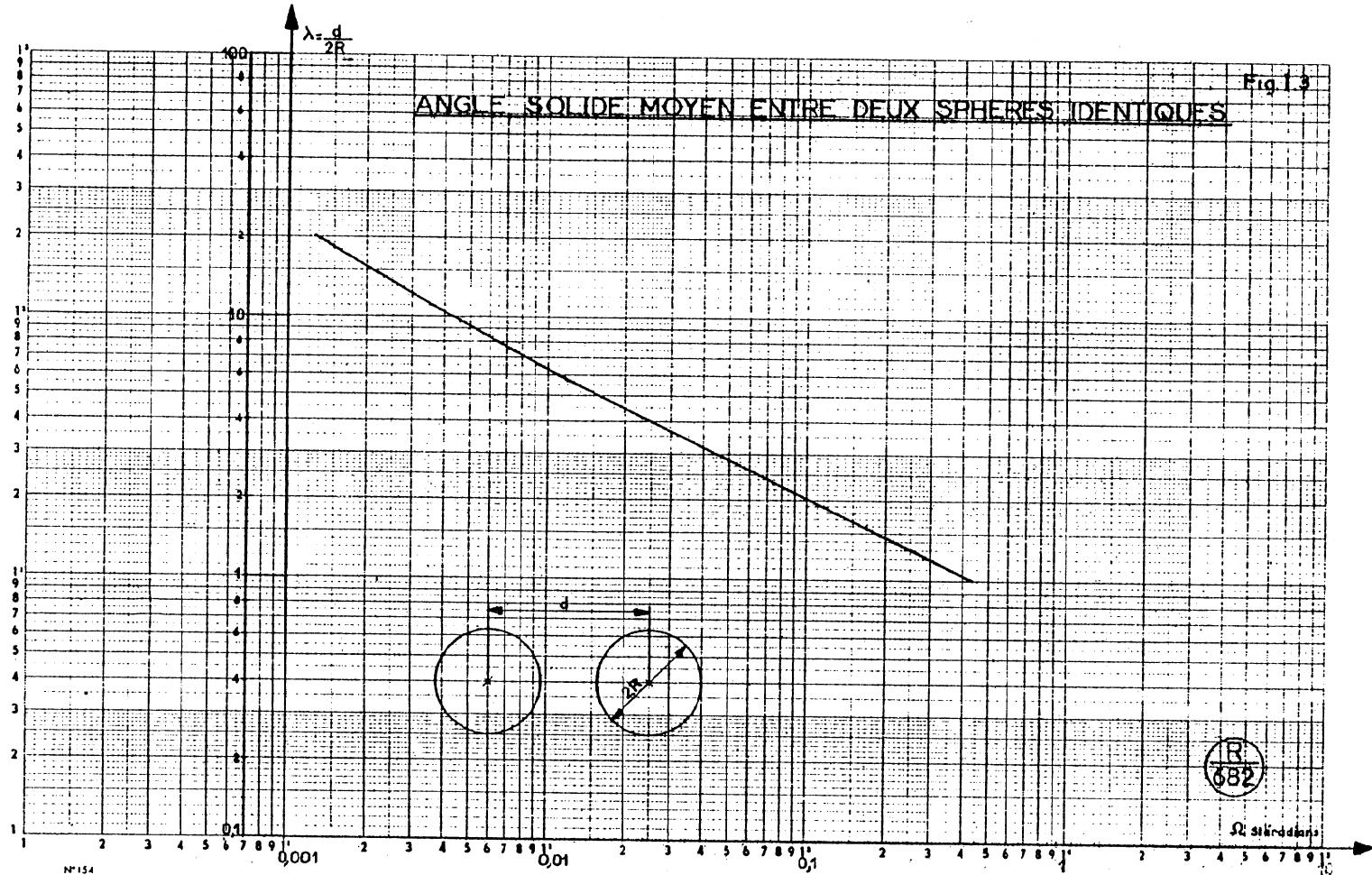
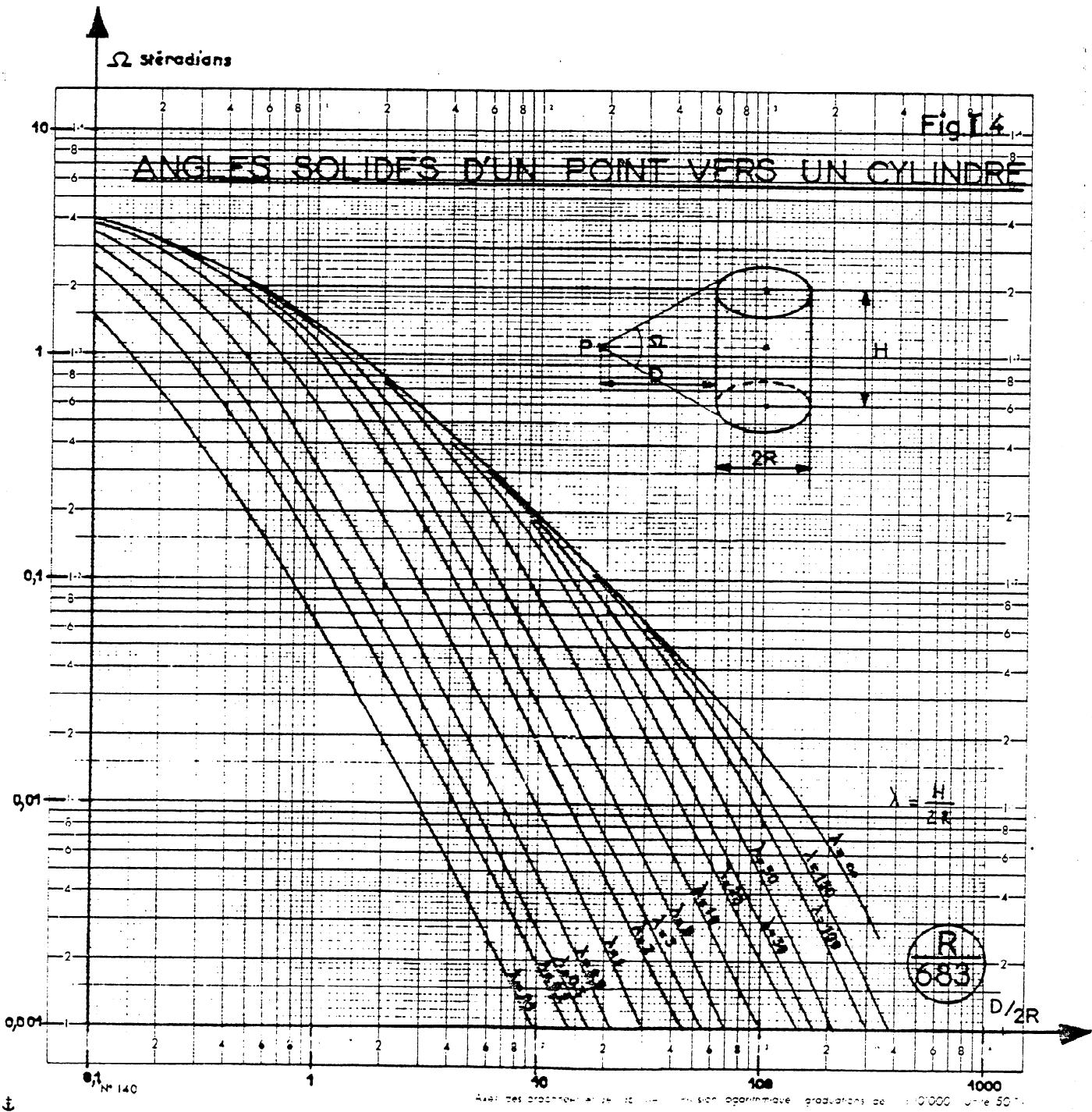
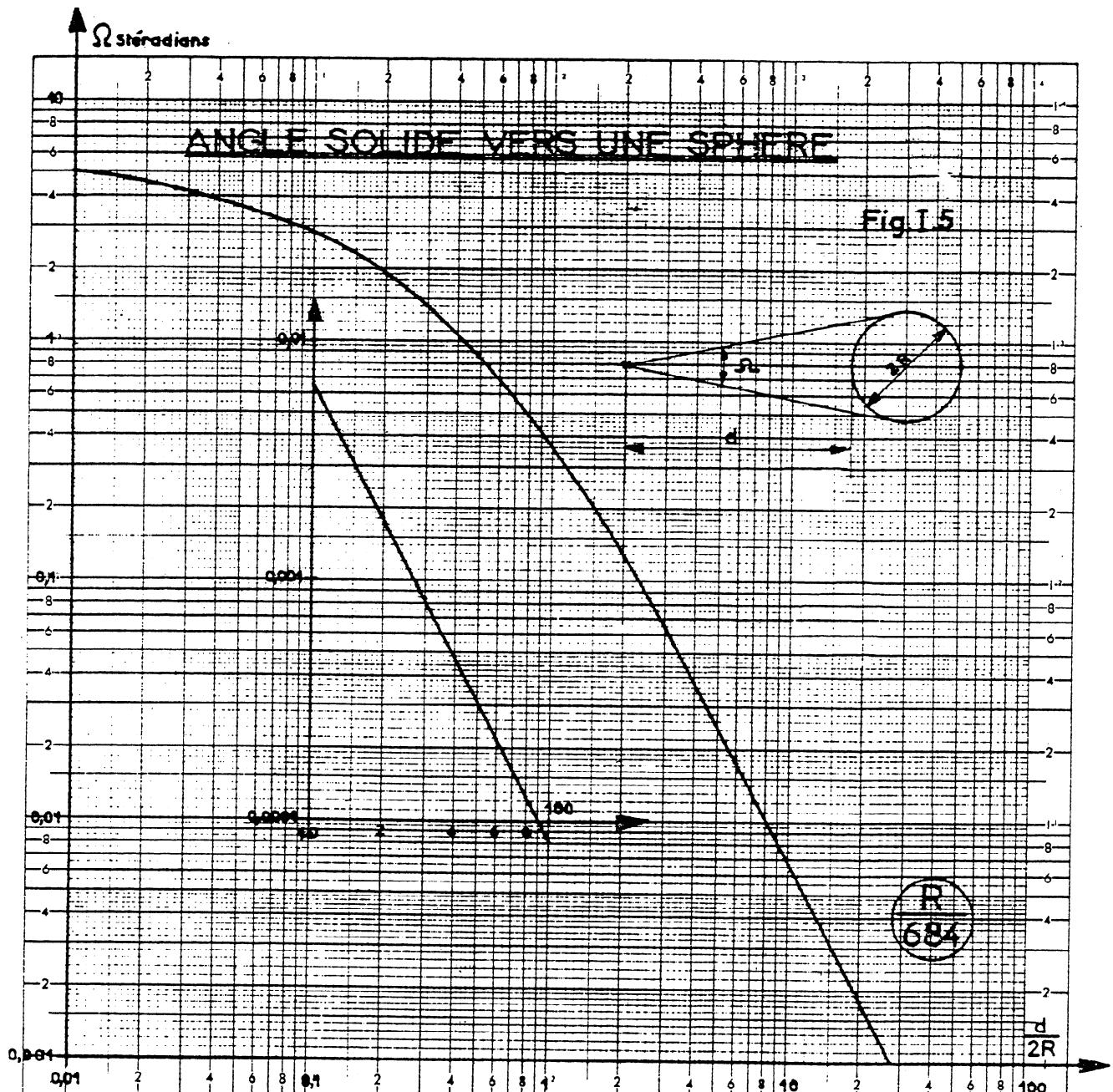
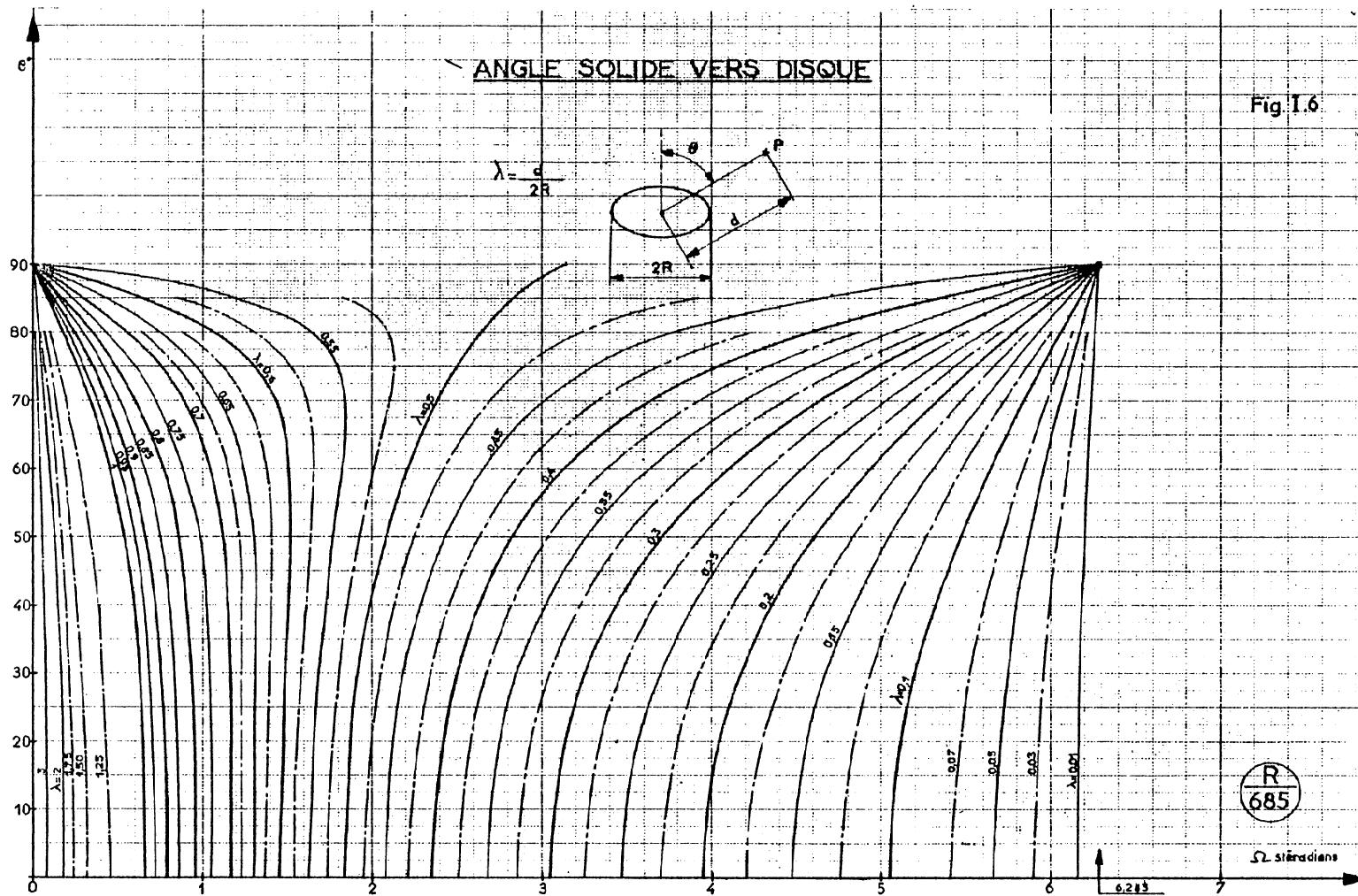
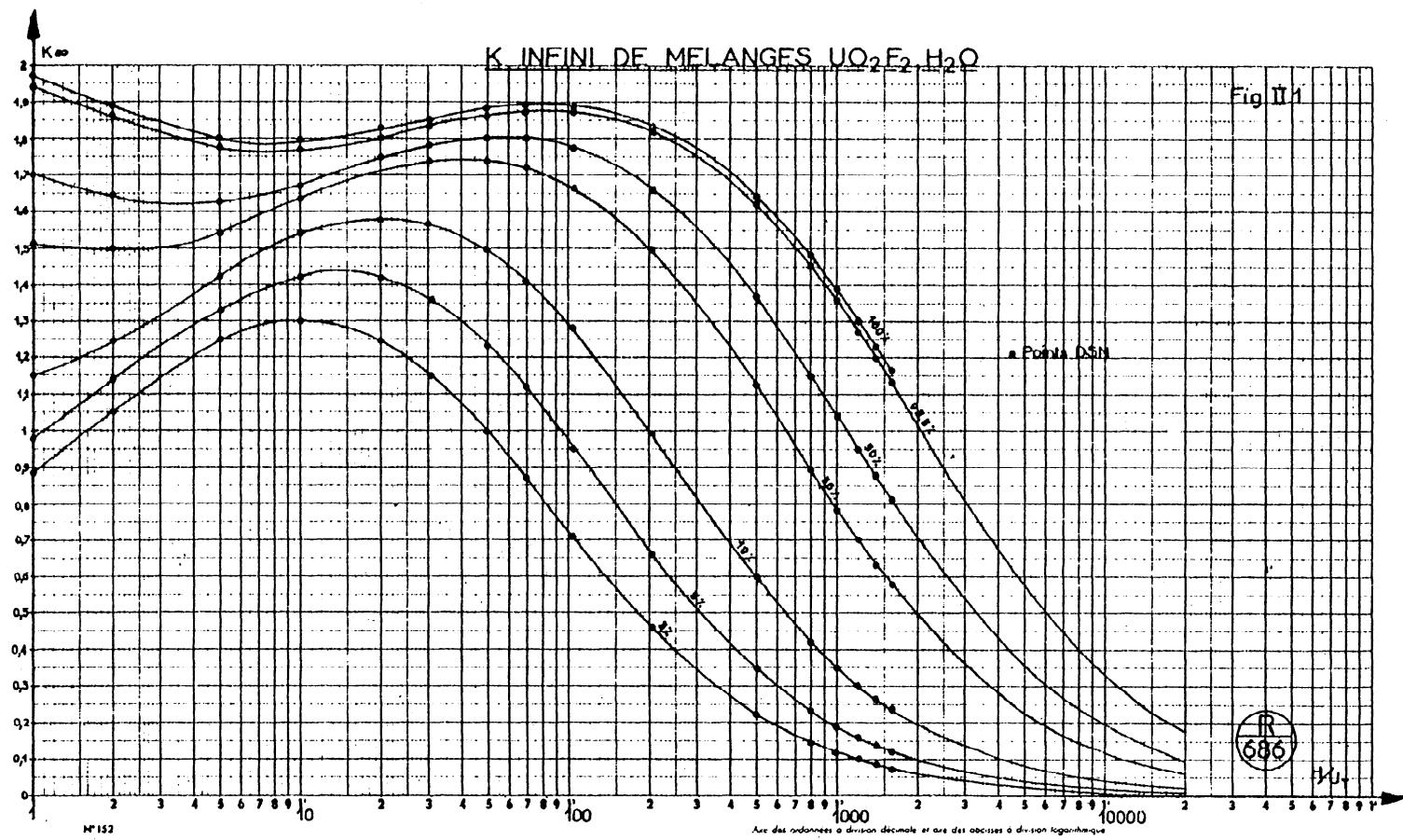


Fig L4









KINETIQUE DE MELEANGES $\text{UO}_2\text{F}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

• Point DAW

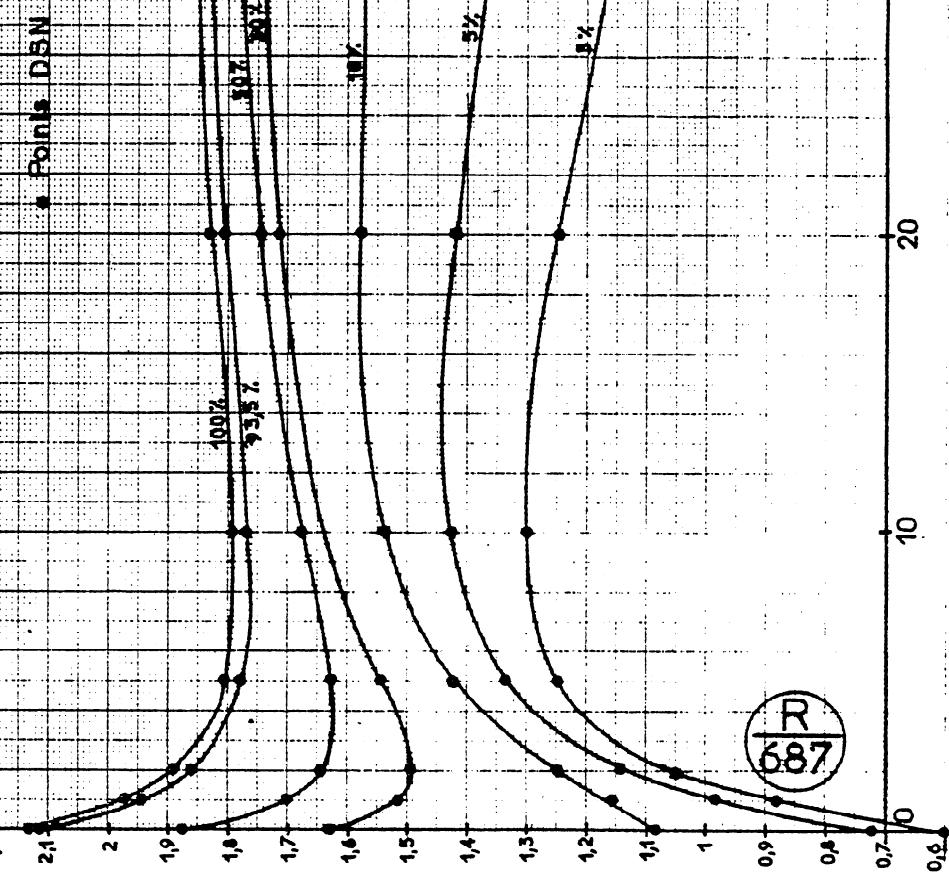
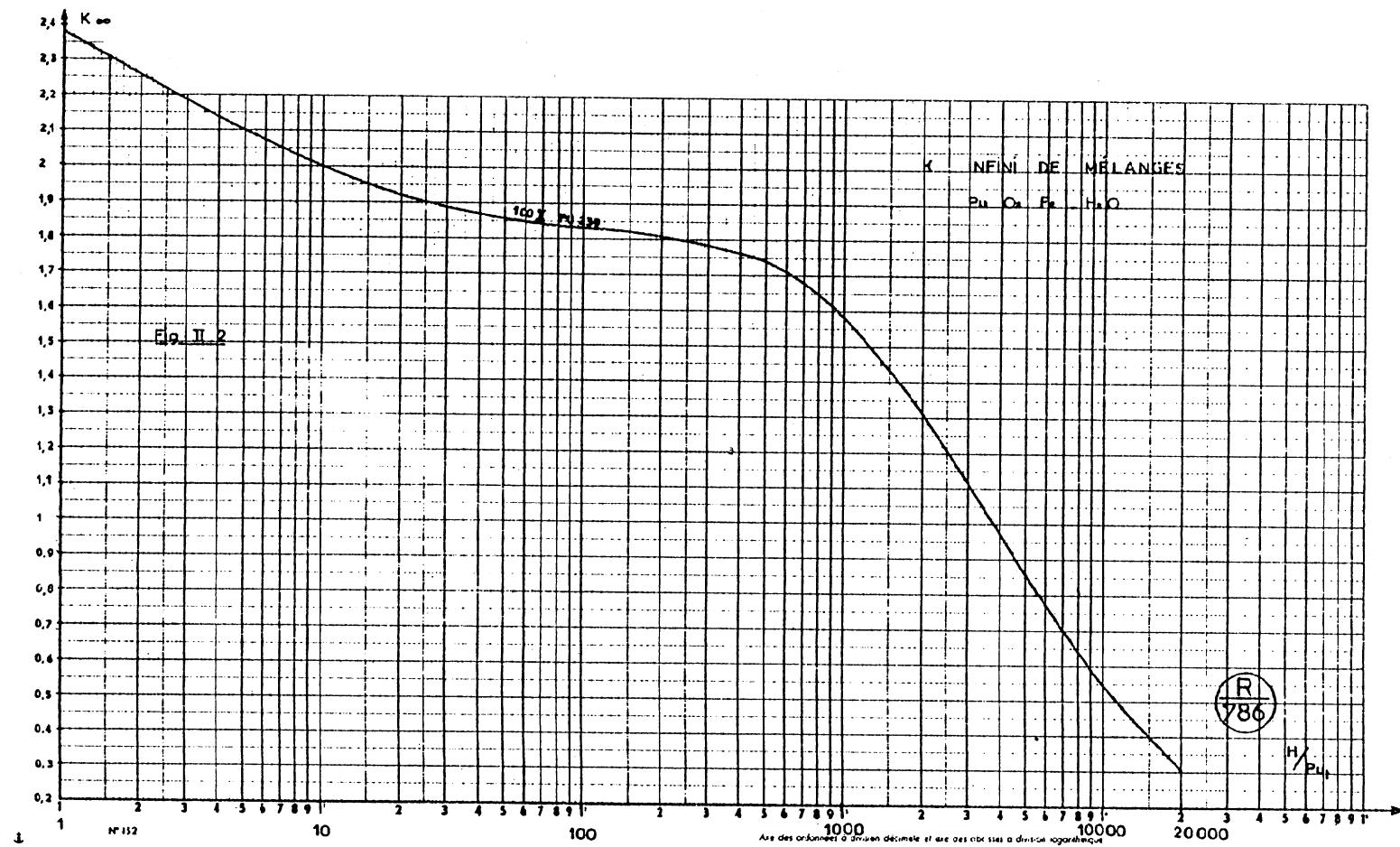
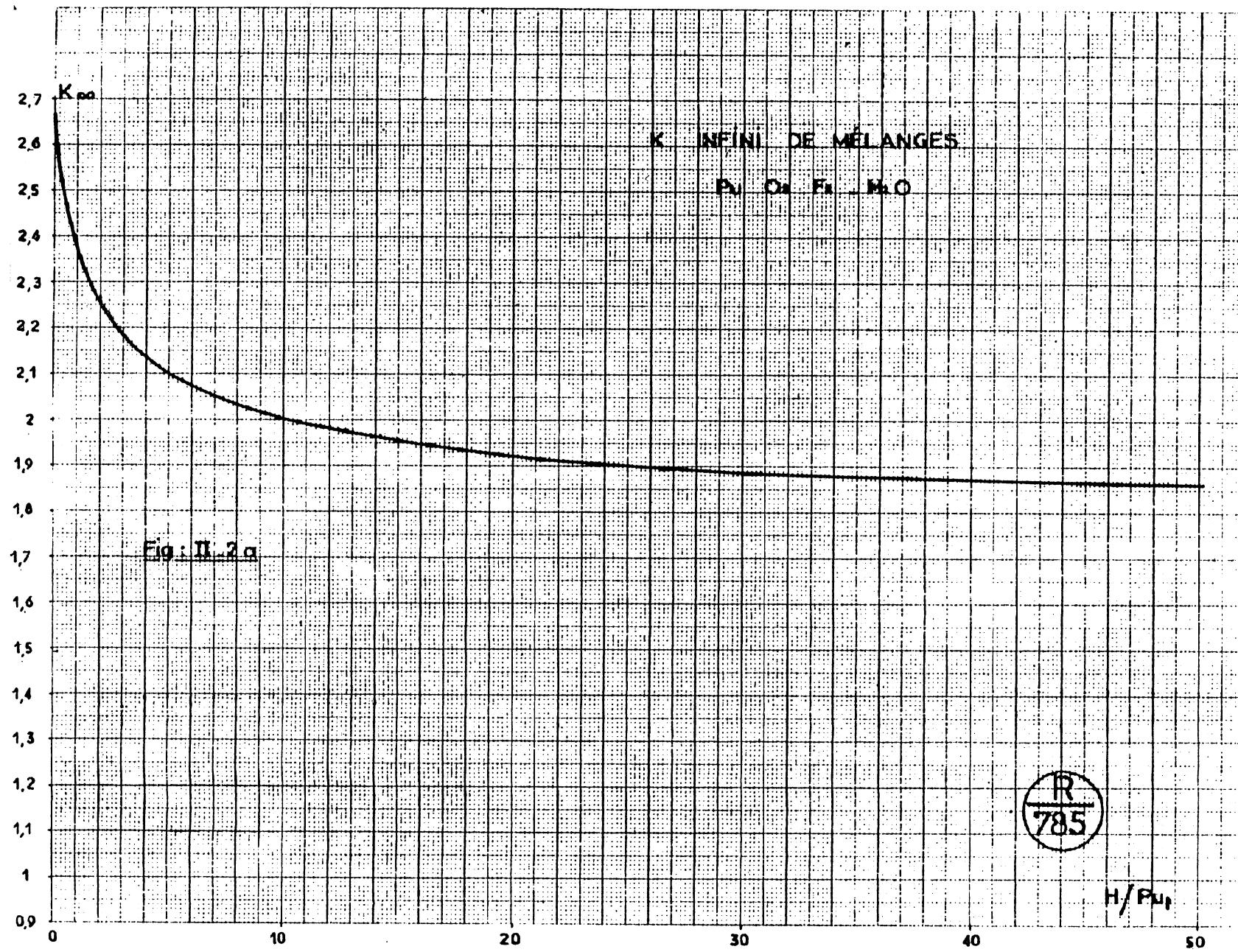
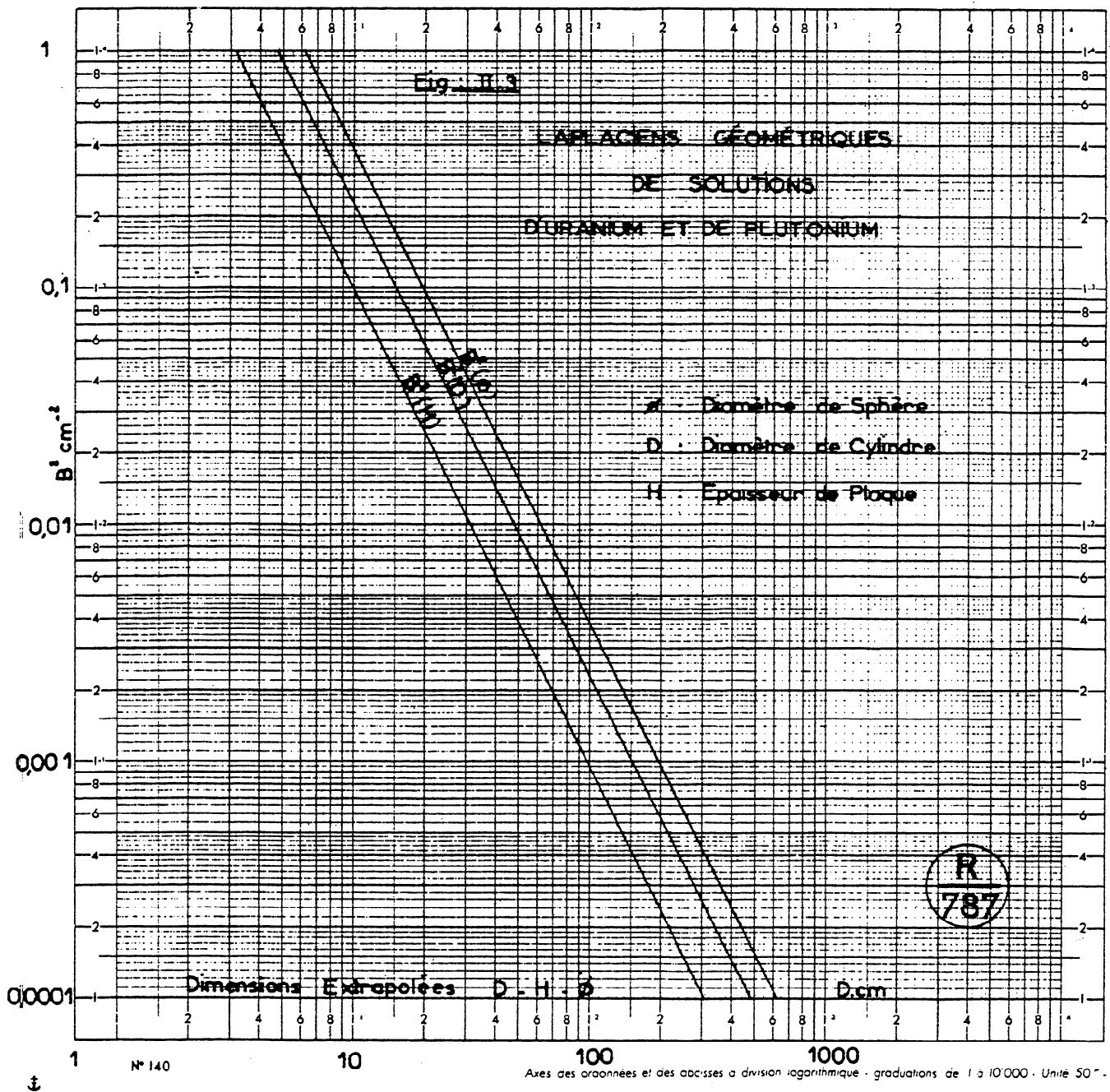
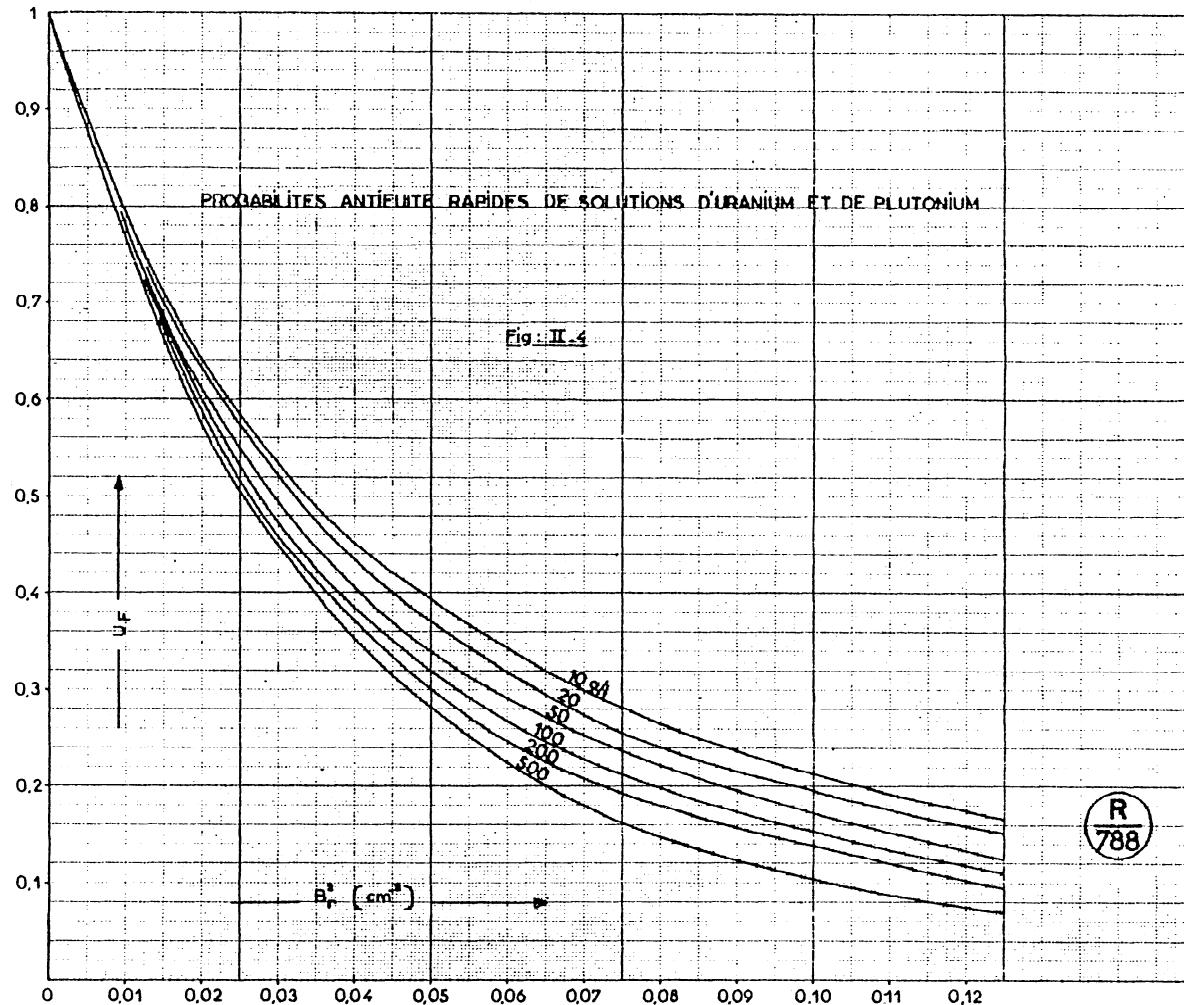


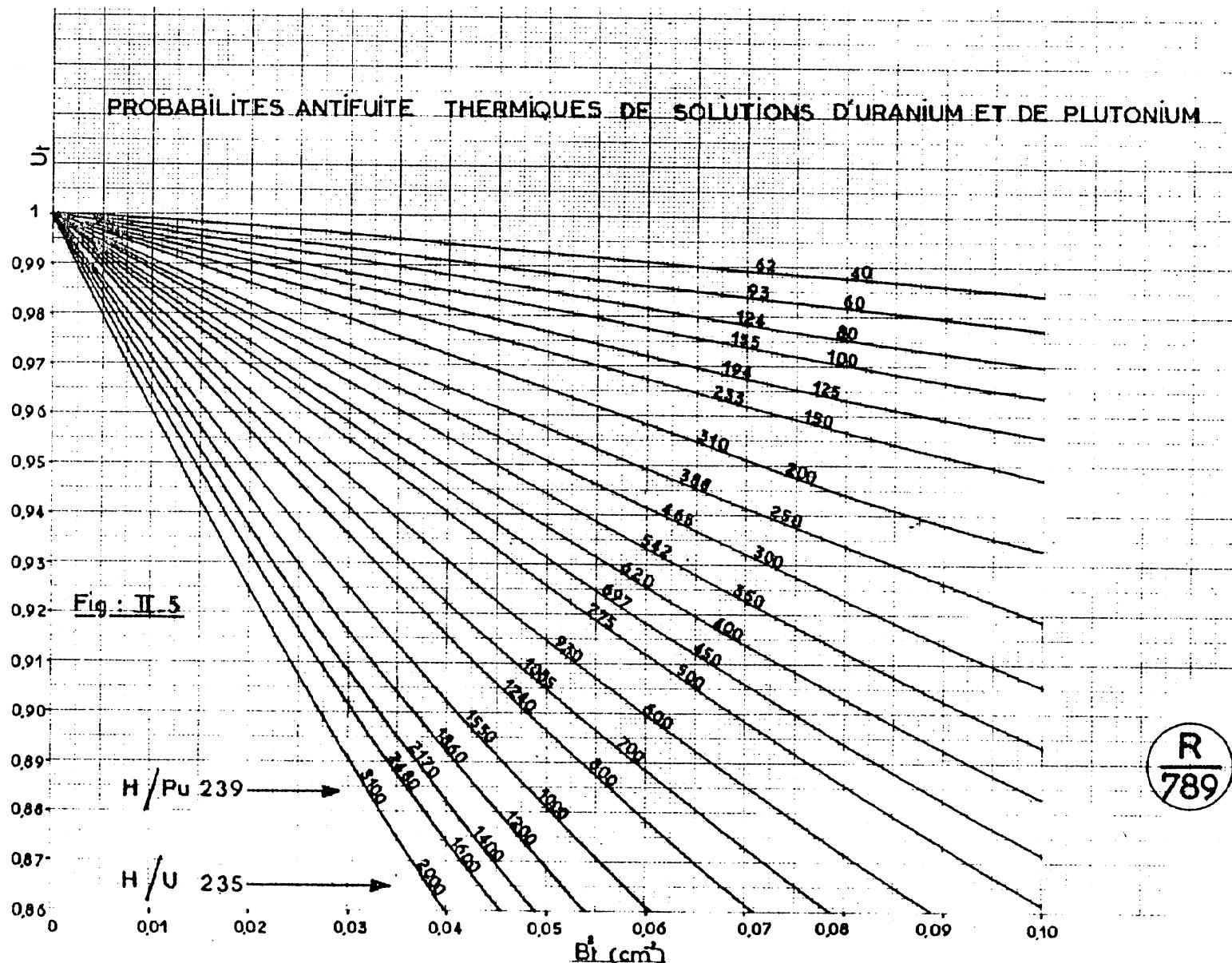
Fig. II.1a

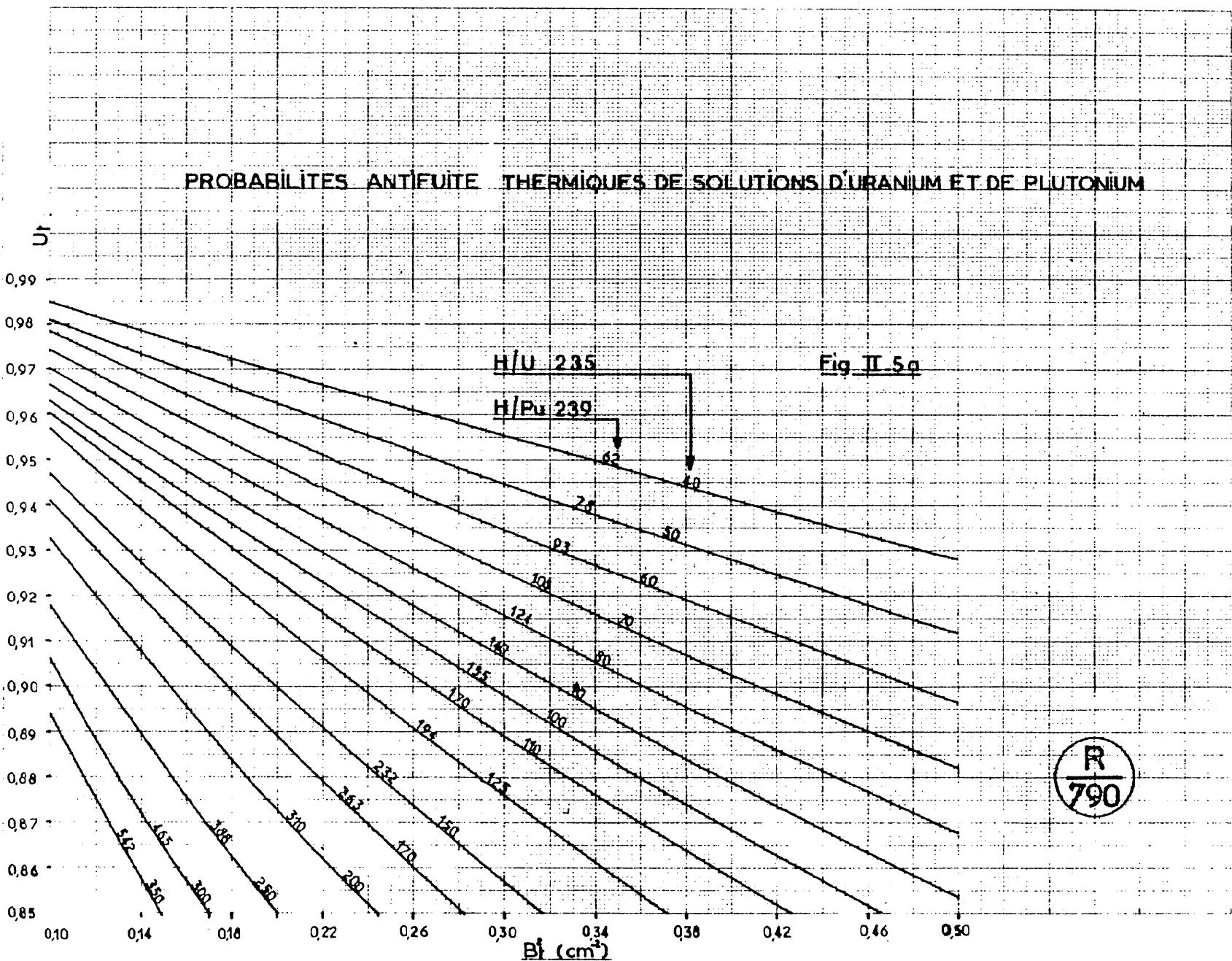


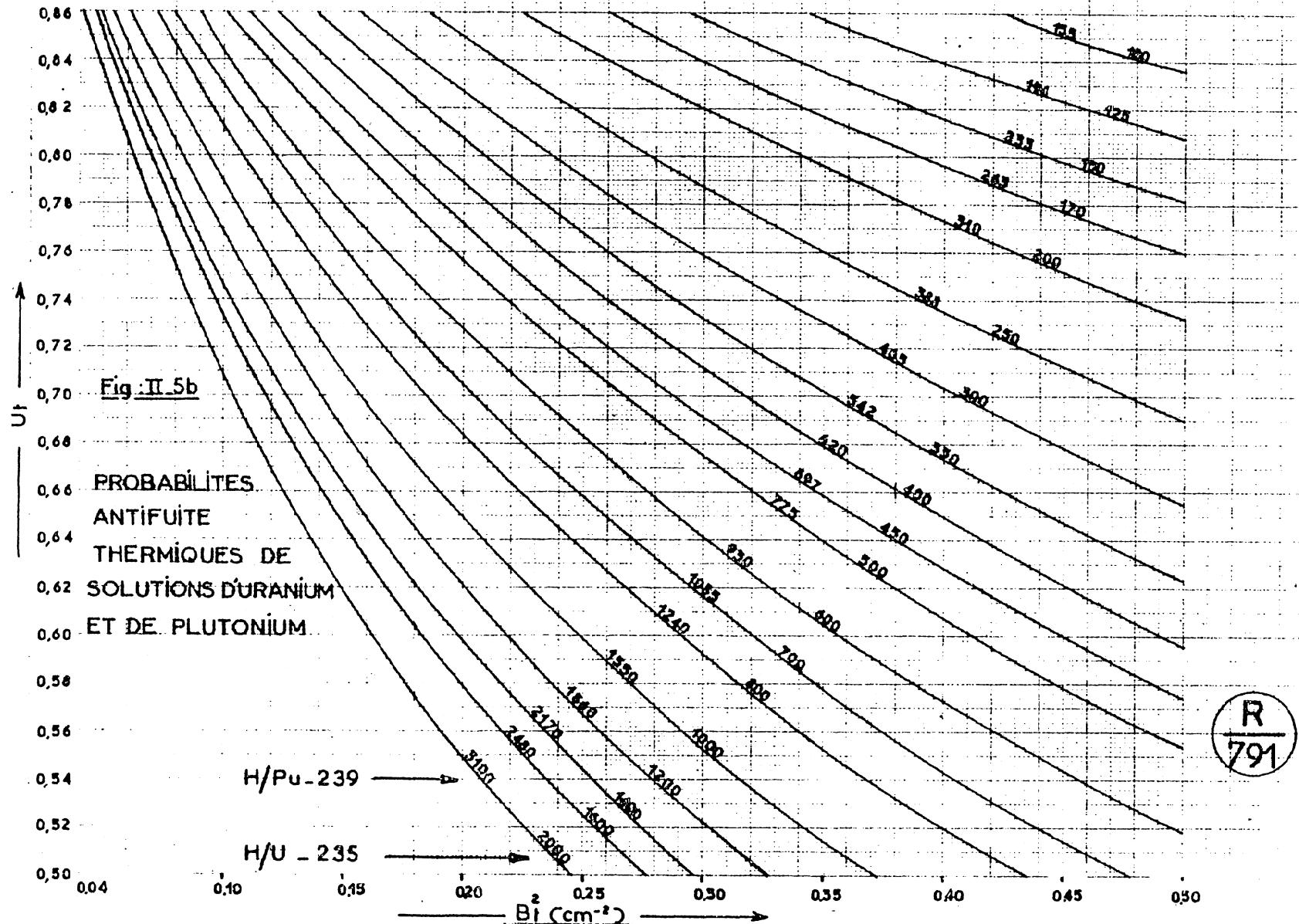




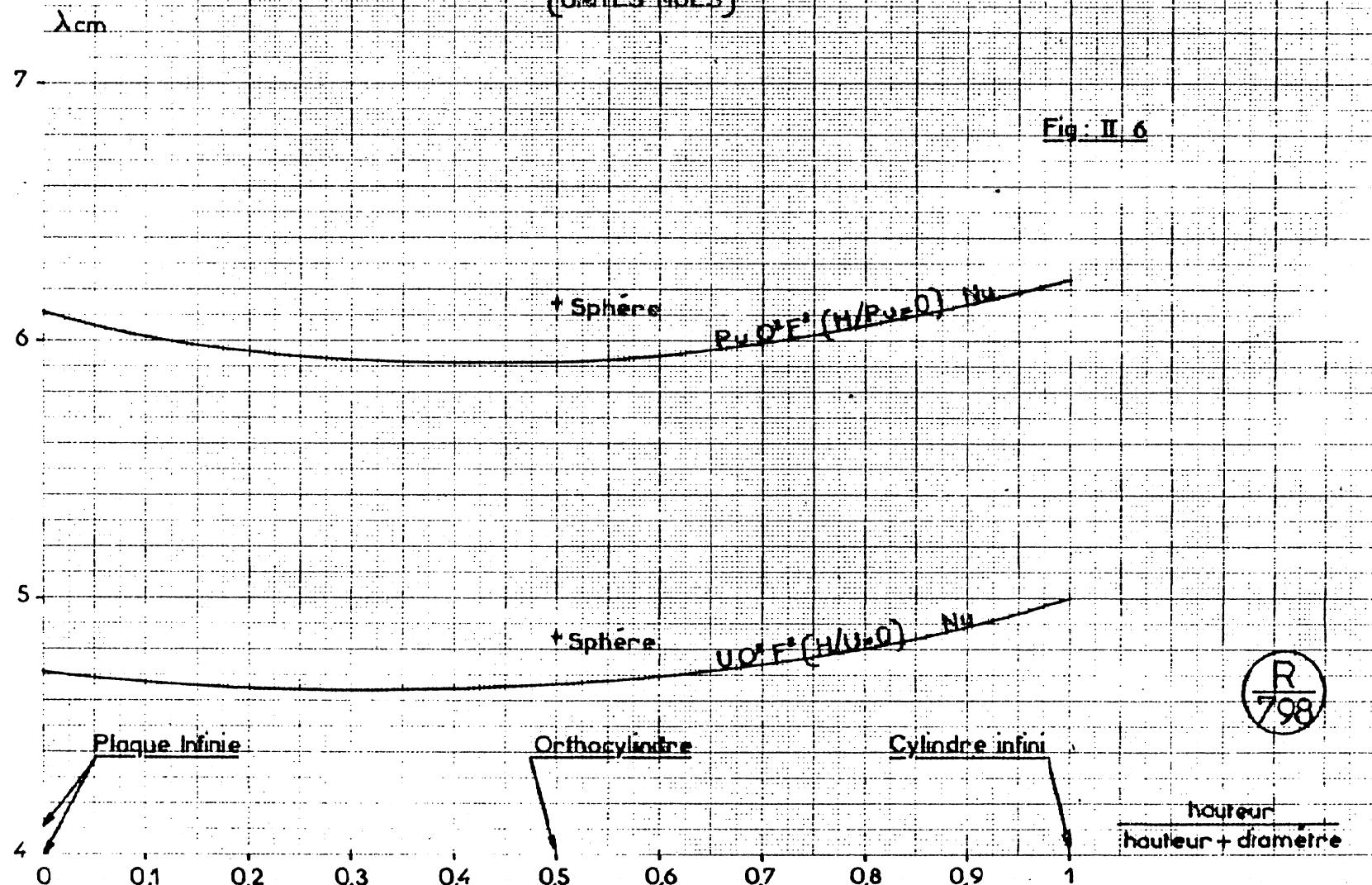


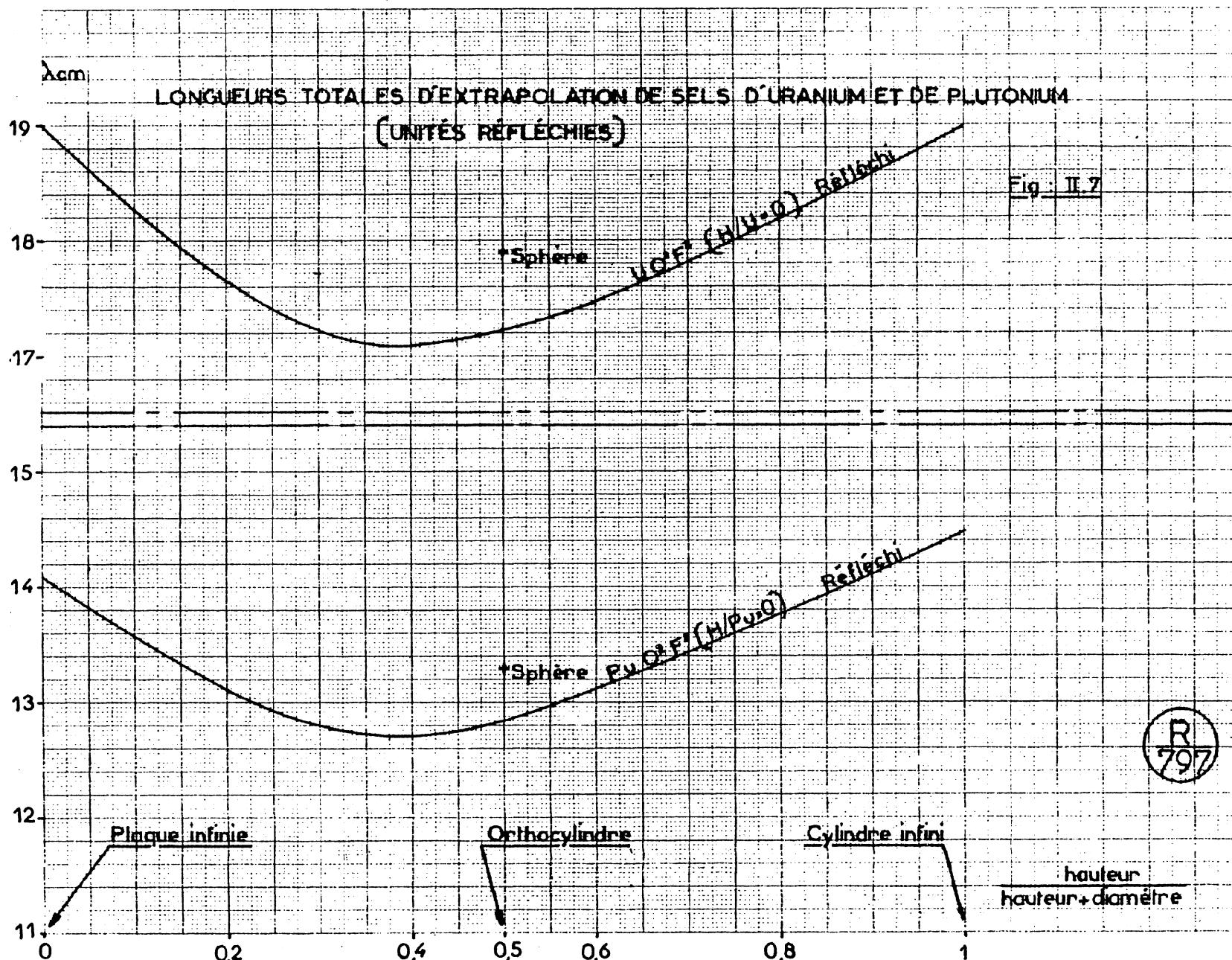


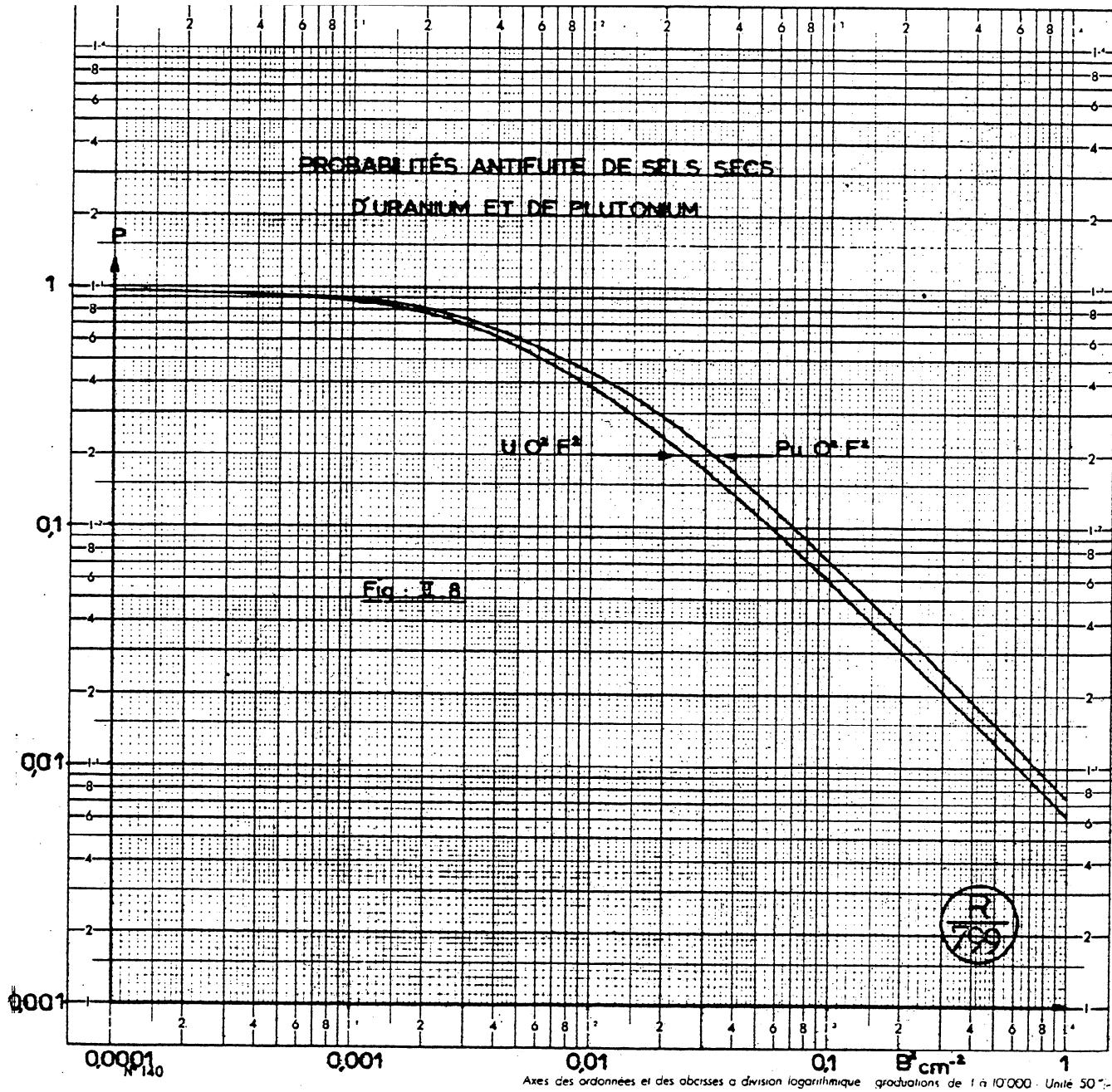


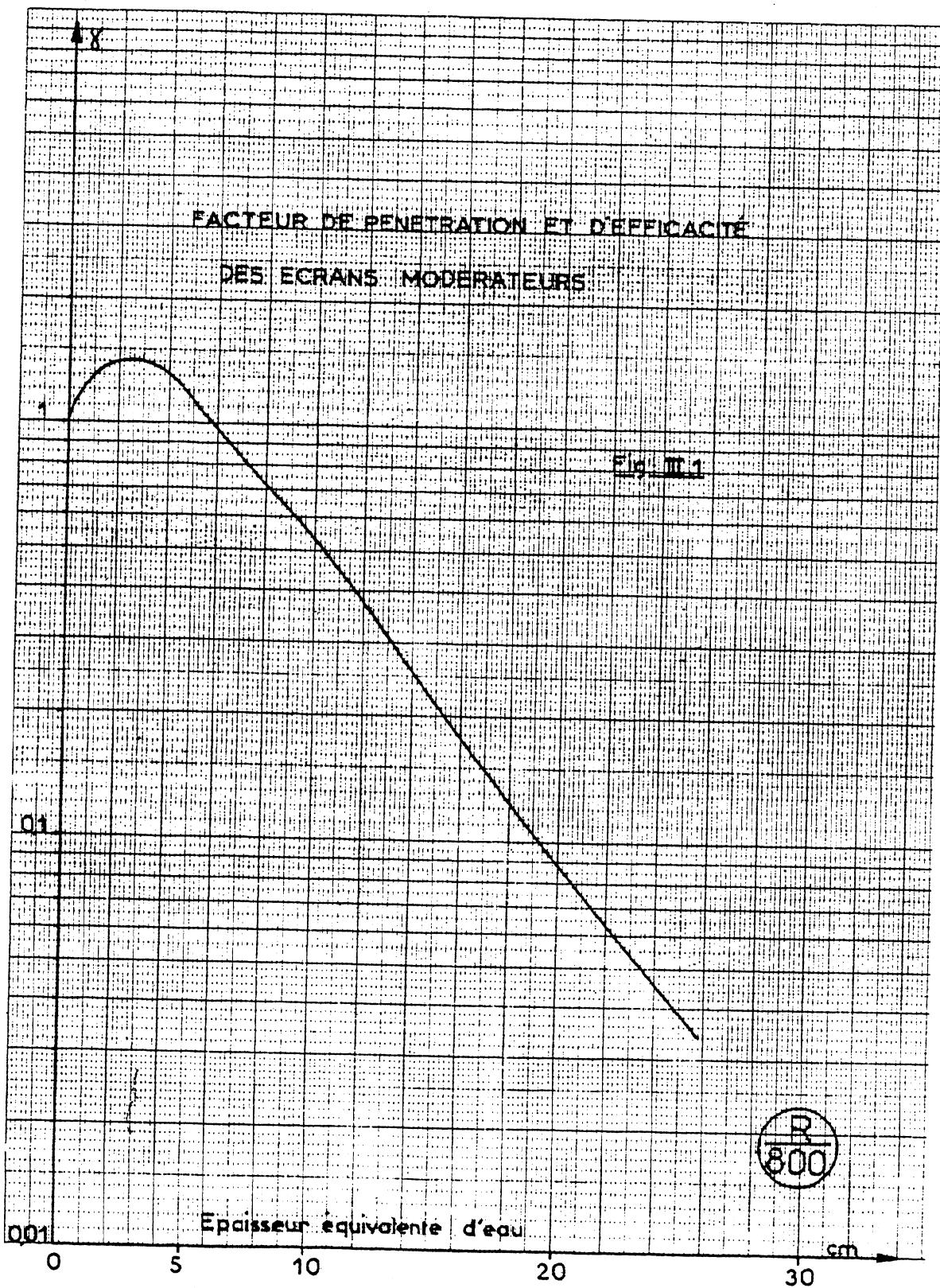


LONGUEURS TOTALES D'EXTRAPOLATION DE SELS D'URANIUM ET DE PLUTONIUM
 (UNITÉS NUDES)





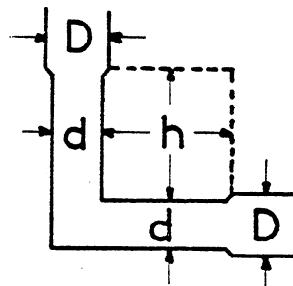




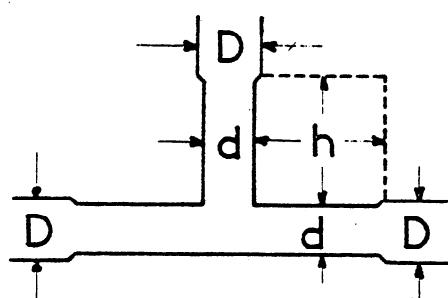
NORMES POUR INTERSECTIONS DE TUYAUX

Fig III.2

INTERSECTION en L

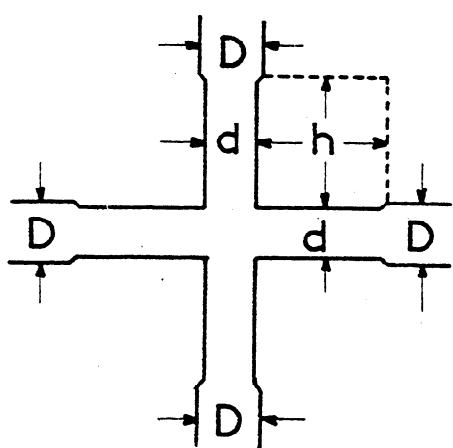


Relation Générale	U(93,5%)	Pu(100%)	cm
D = Diamètre sûr	12,7	11,4	
d = 0,91D	11,5	10,4	
h = 3 D	38	34	



INTERSECTION en T

Relation Générale	U(93,5%)	Pu (100%)	cm
D = Diamètre sûr	12,7	11,4	
d = 0,83 D	10,6	9,5	
h = 3 D	38	34	



INTERSECTION en CROIX

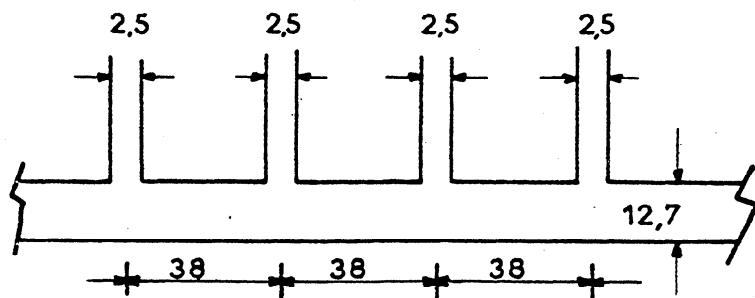
Relation Générale	U(93,5%)	Pu (100%)	cm
D = Diamètre sûr	12,7	11,4	
d = 0,77 D	9,7	8,8	
h = 3 D	38	34	

R
814

NORMES POUR INTERSECTIONS DE TUYAUX
ET DE PLAQUES (U 93,5%)

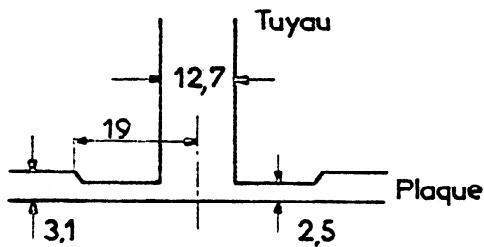
(Unité : cm)

Fig : III.3

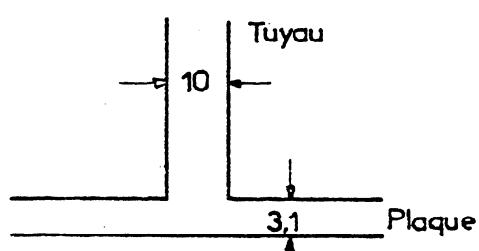
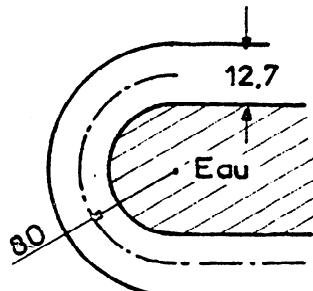


RACCORD MULTIPLE

TUYAU ET PLAQUE
PERPENDICULAIRES

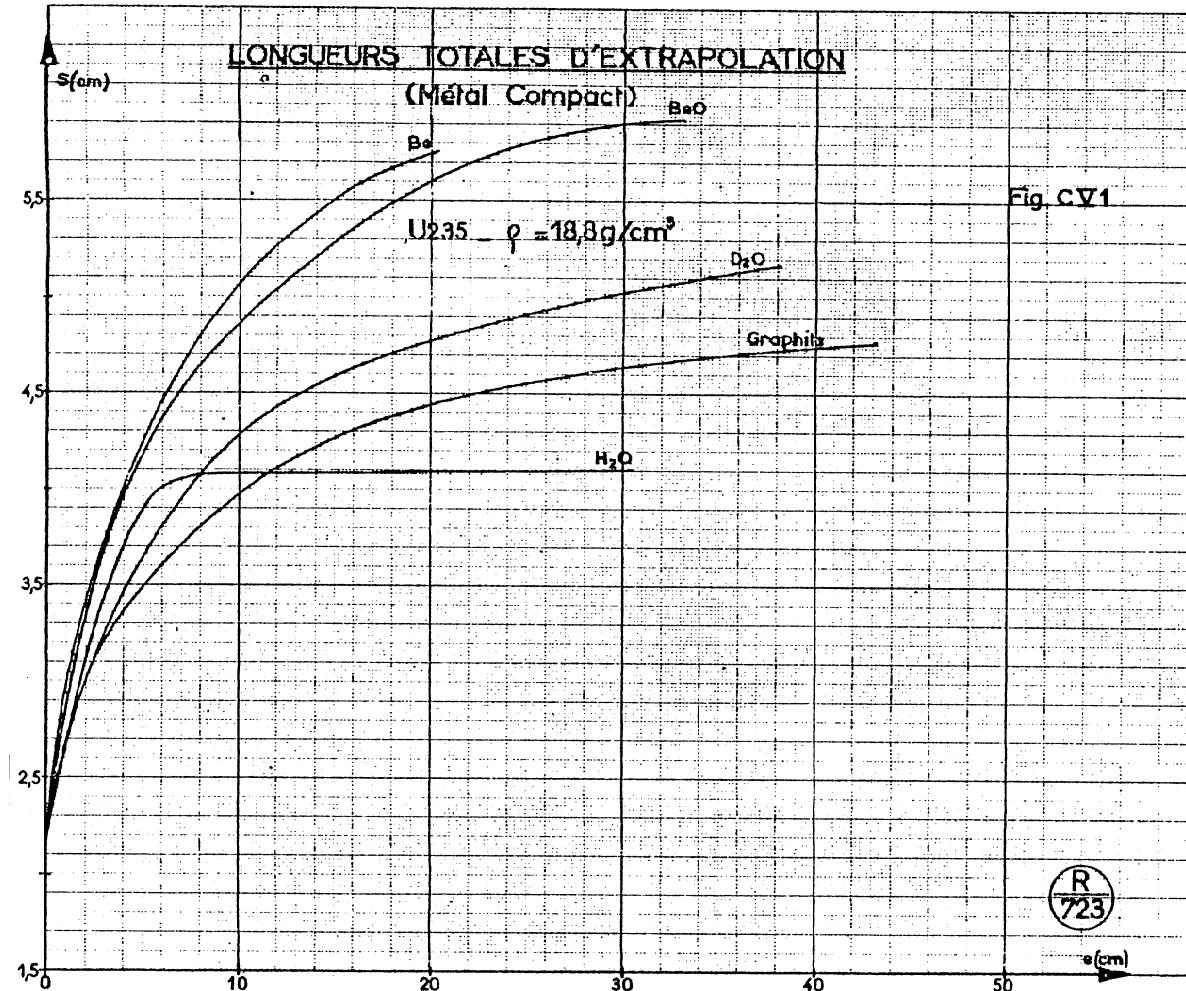


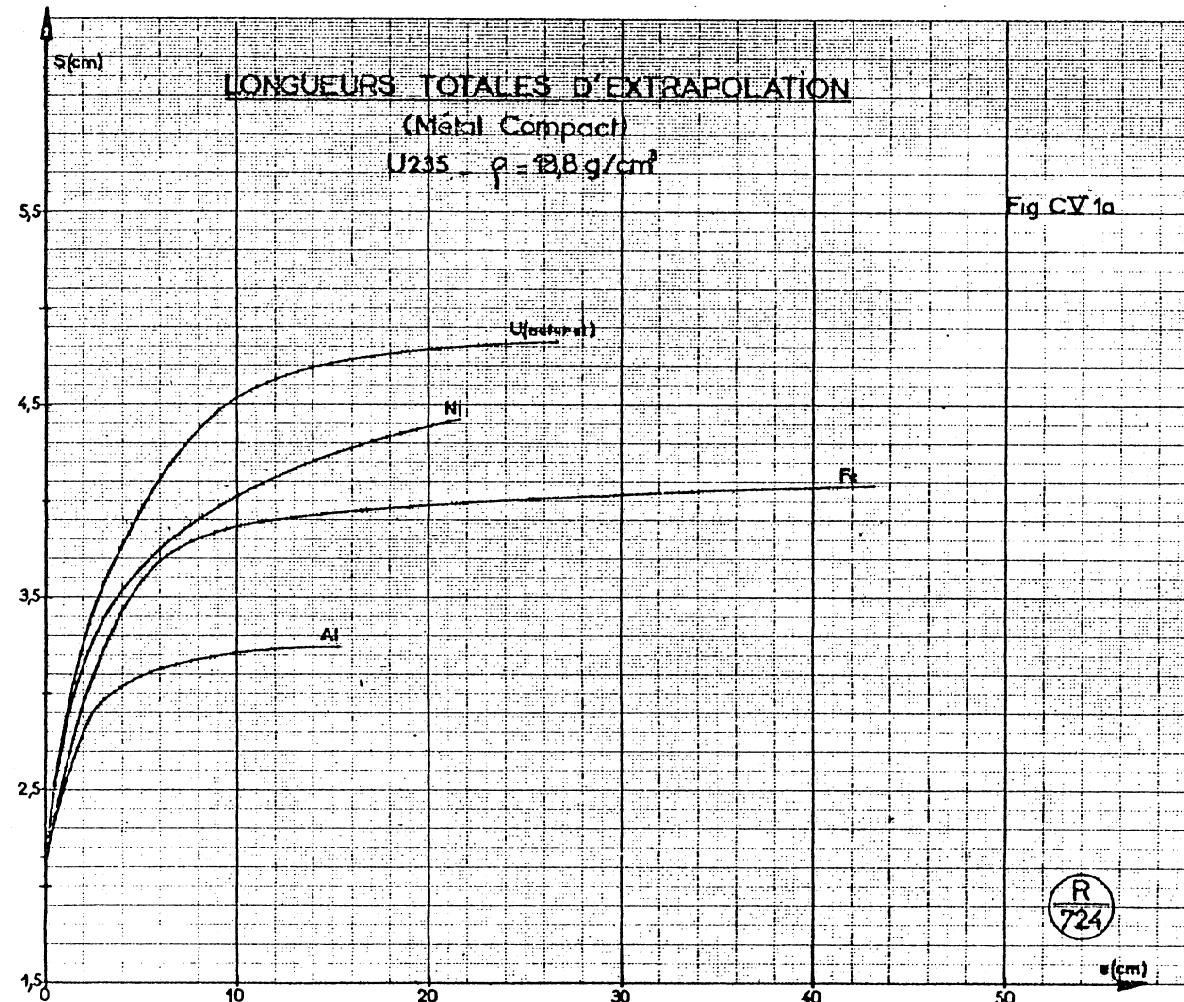
TUYAU COUDÉ EN U

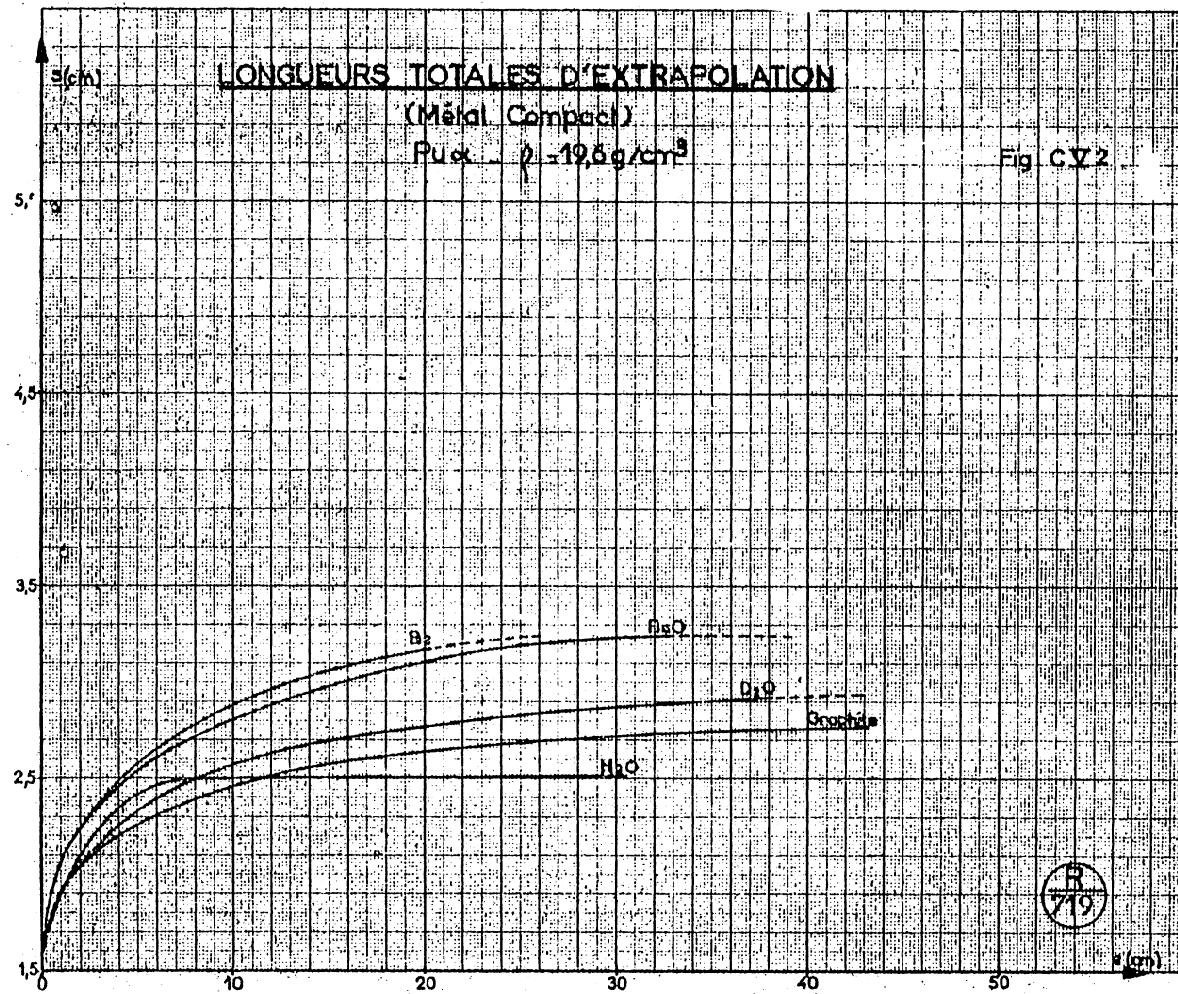


R
815

V - Courbes des compléments







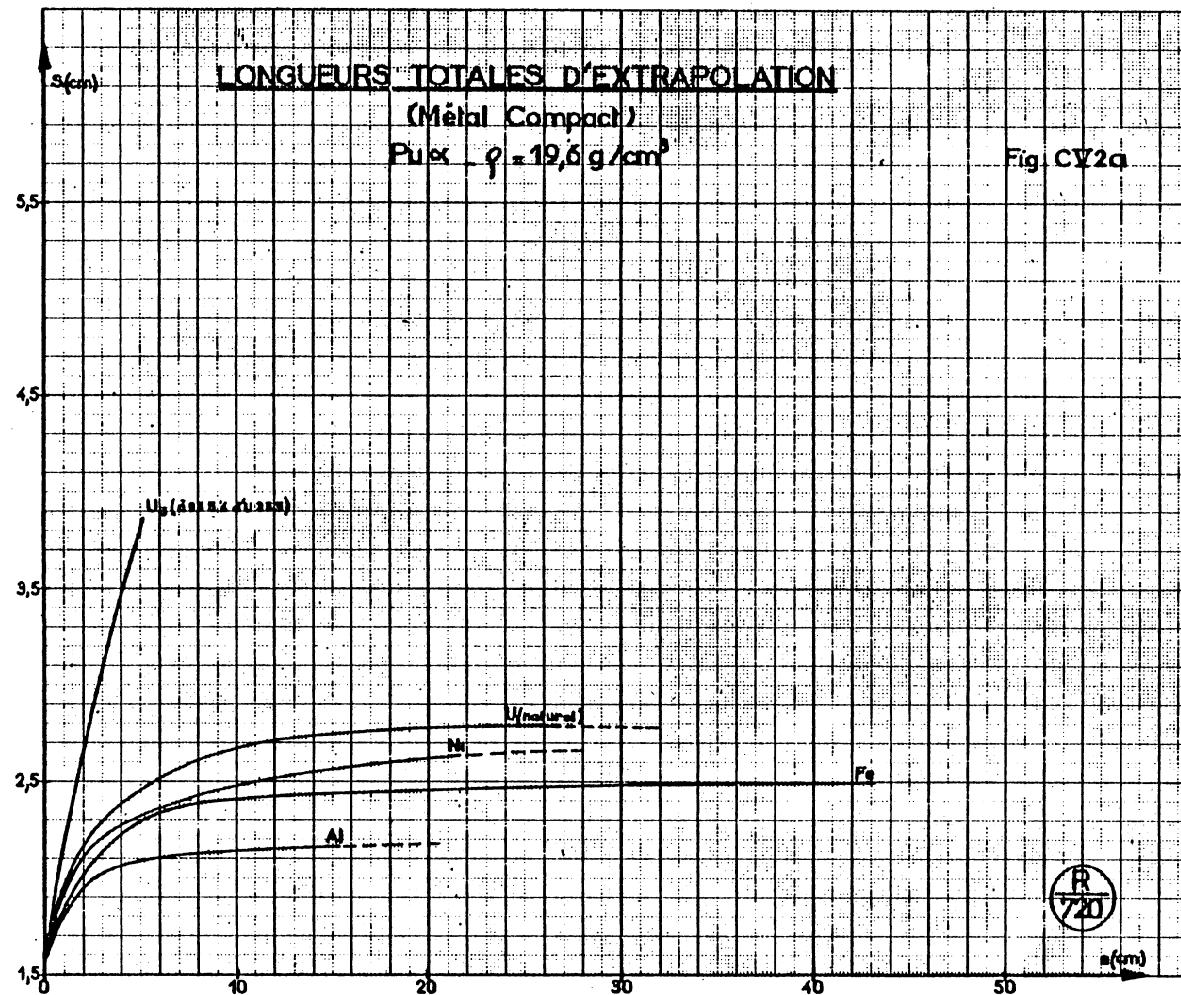
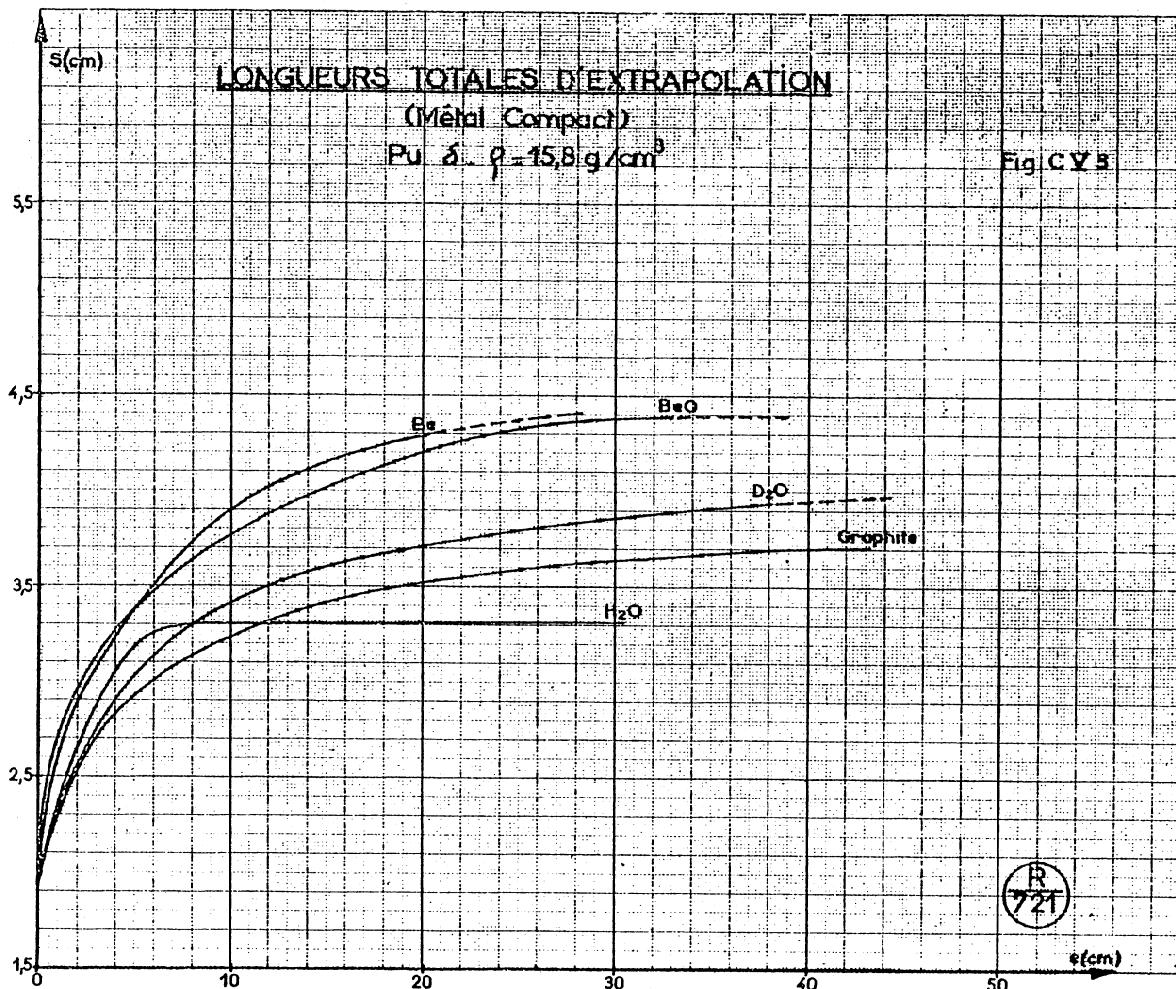
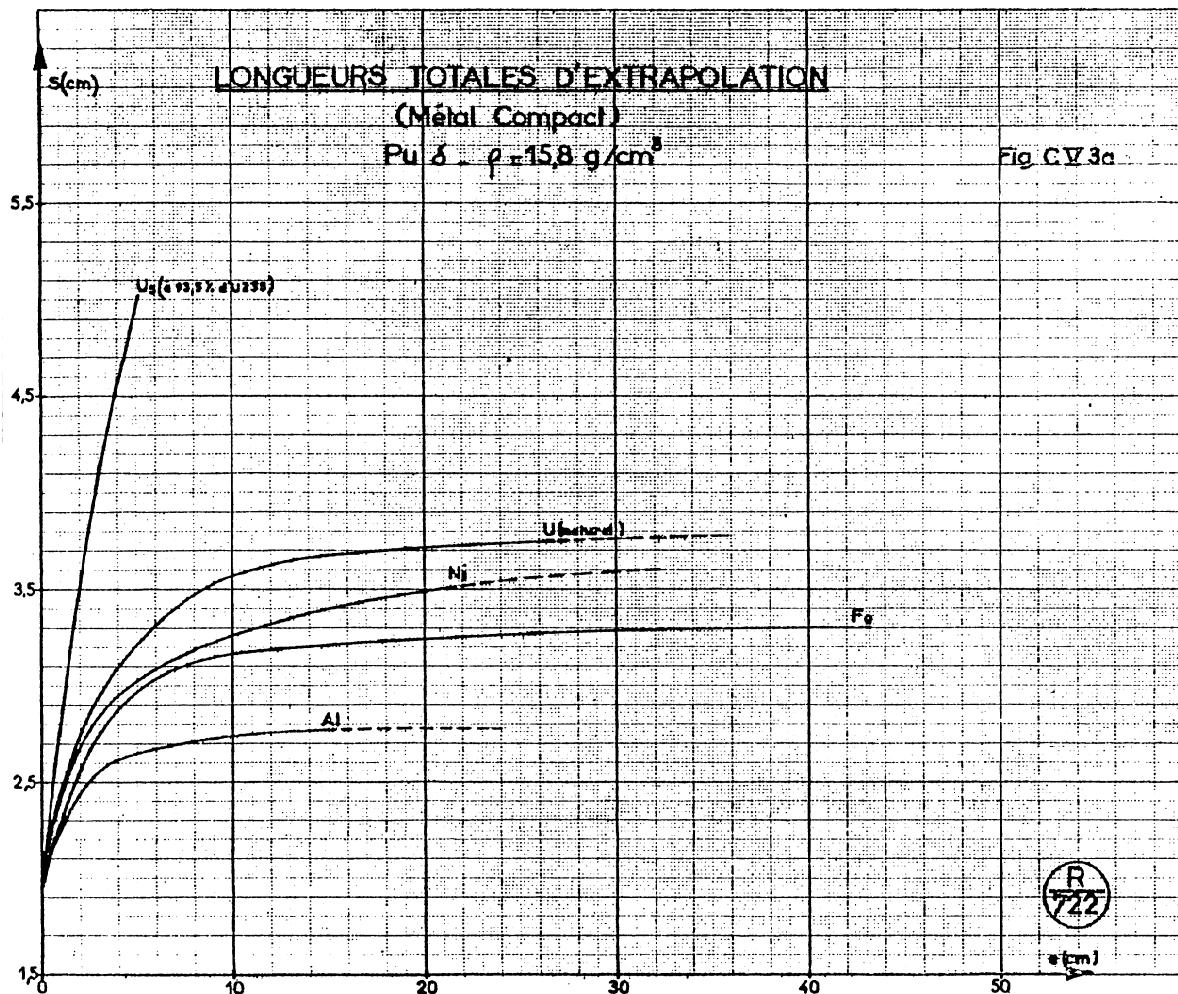
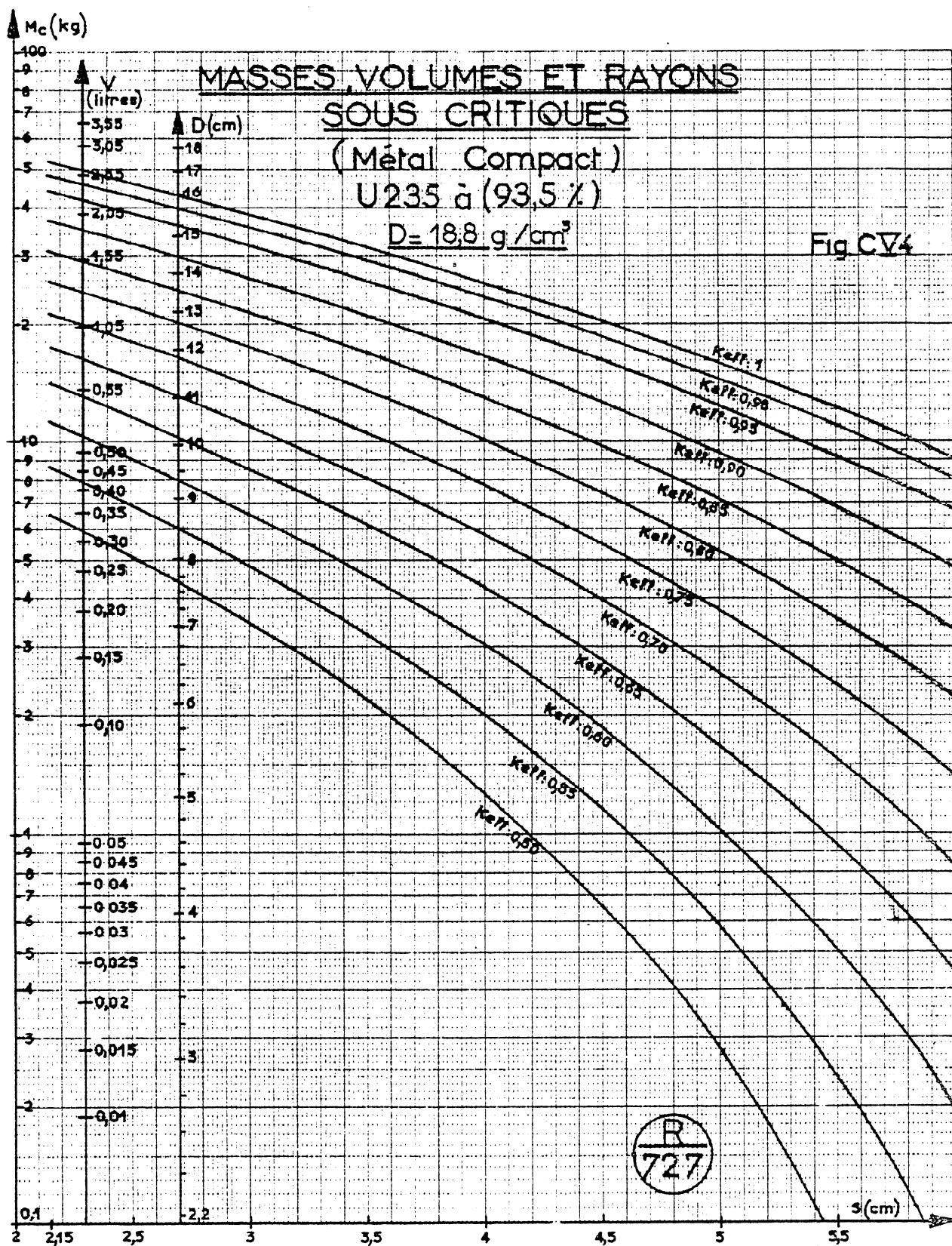
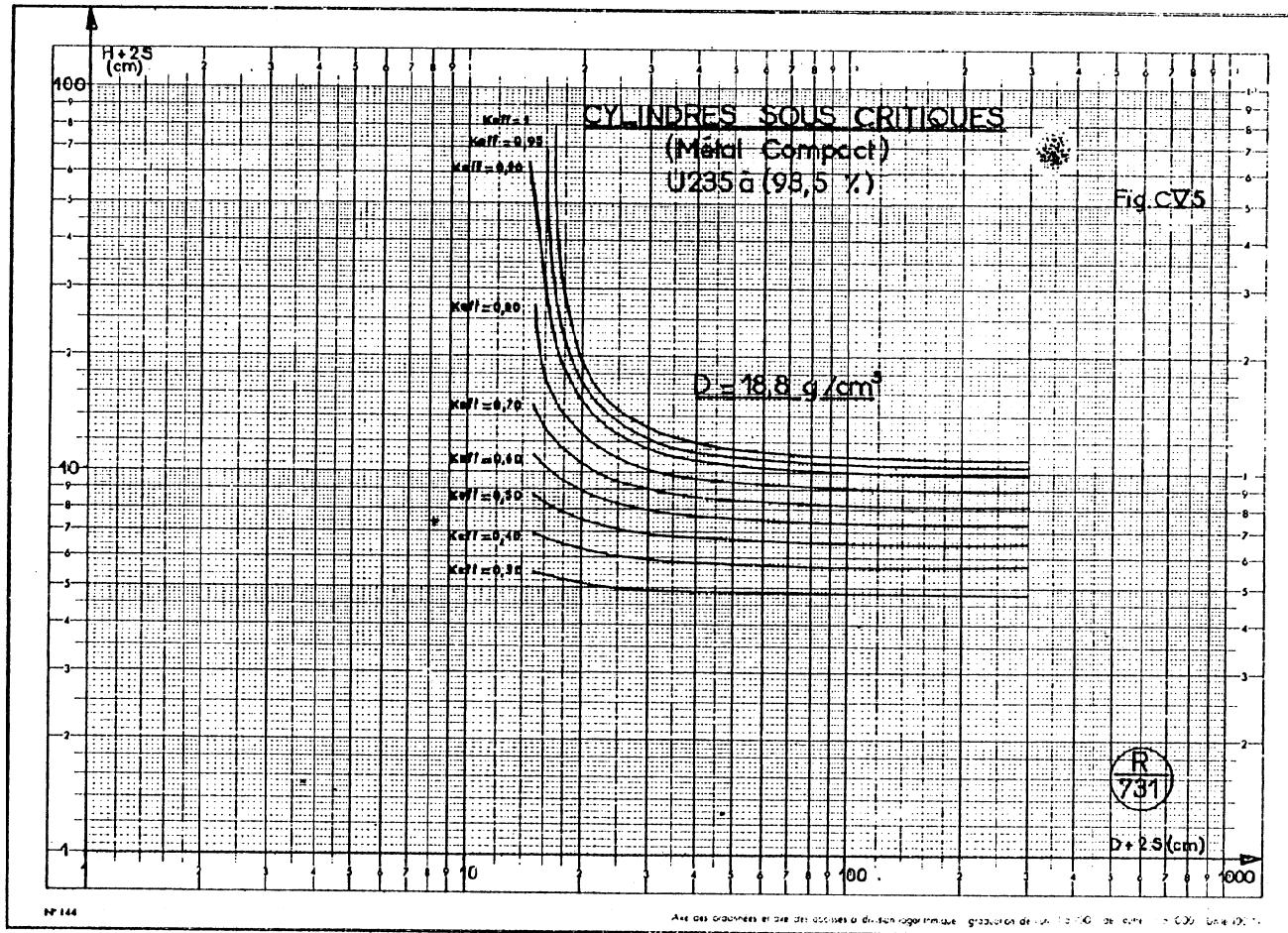


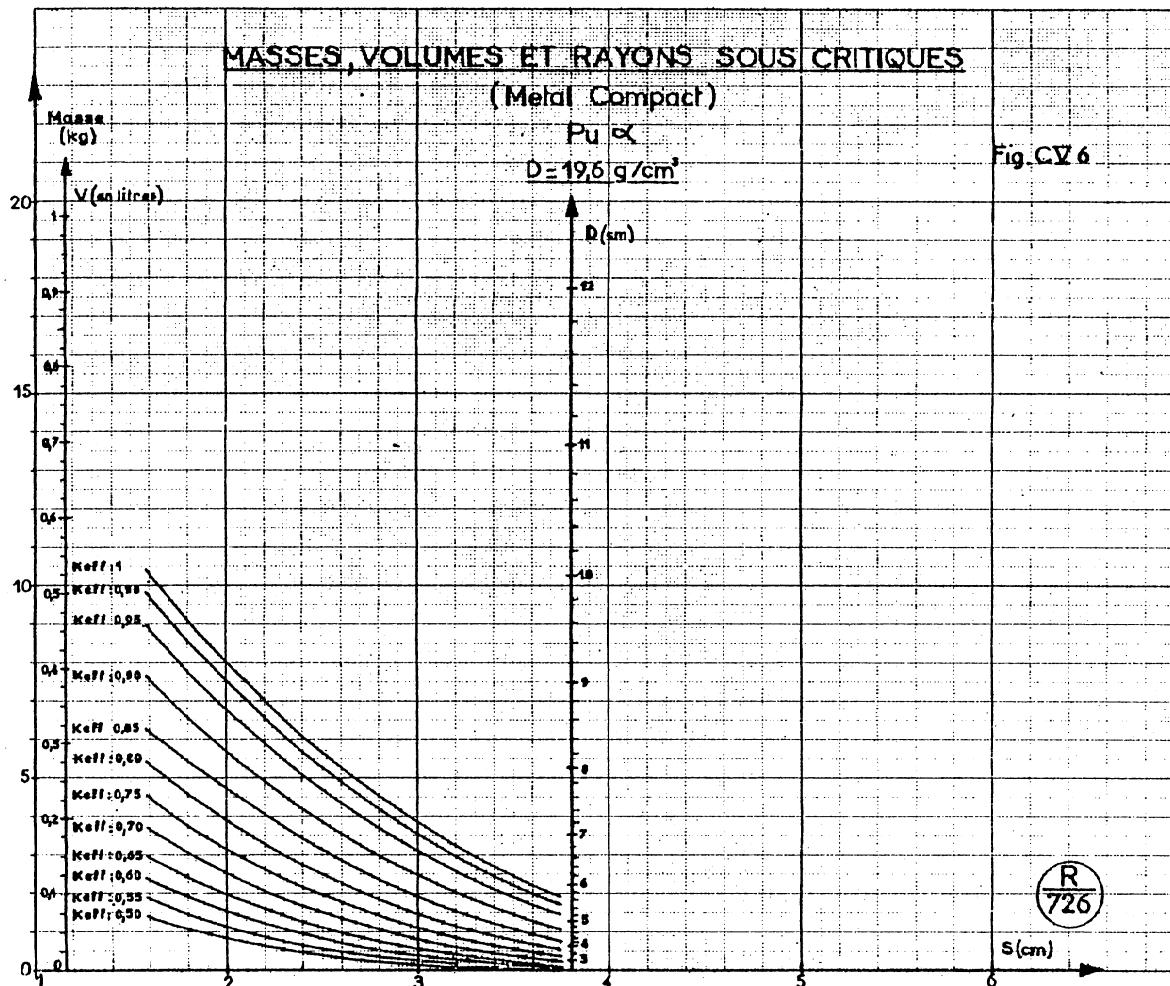
Fig. CIV2a

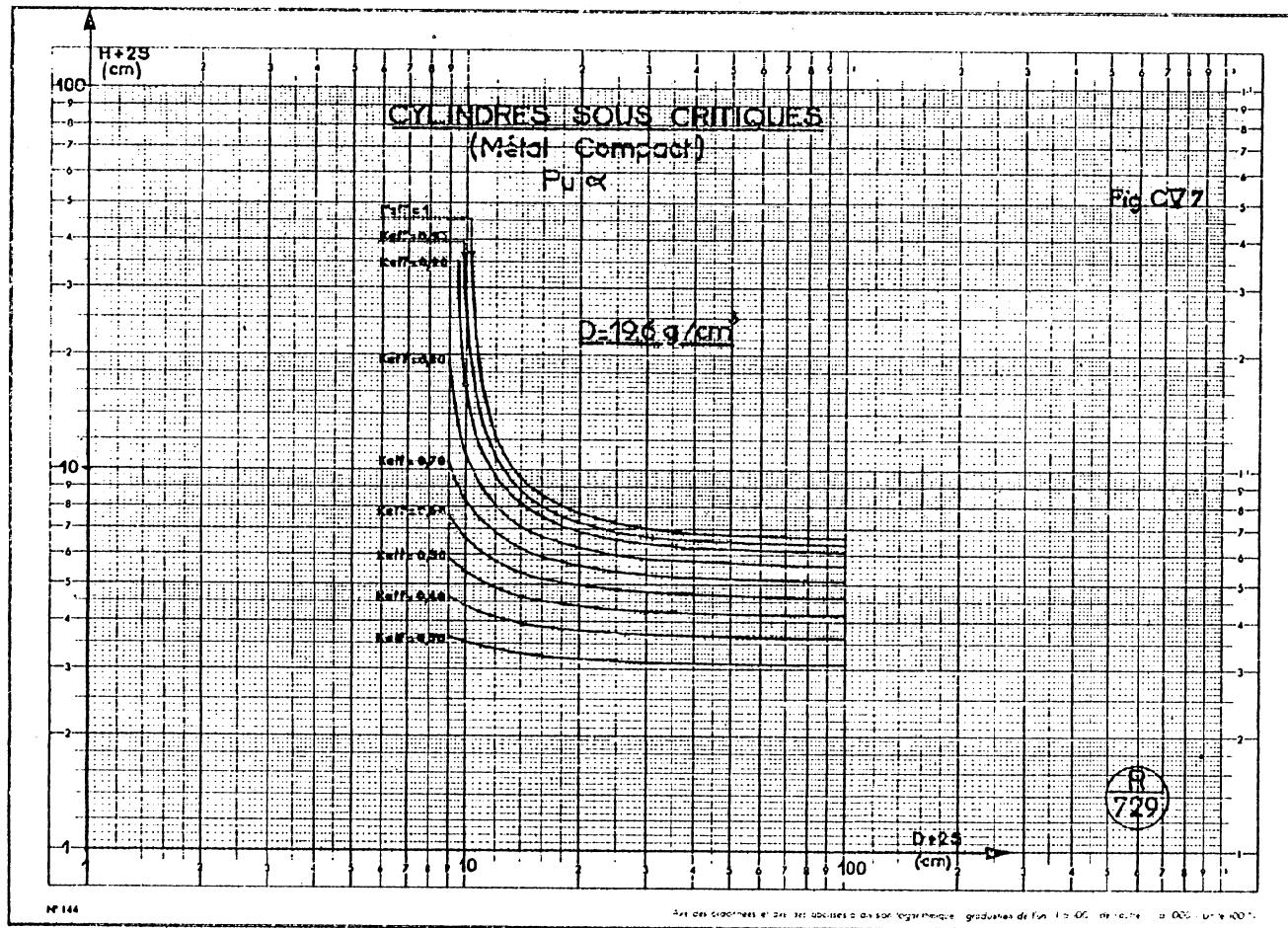


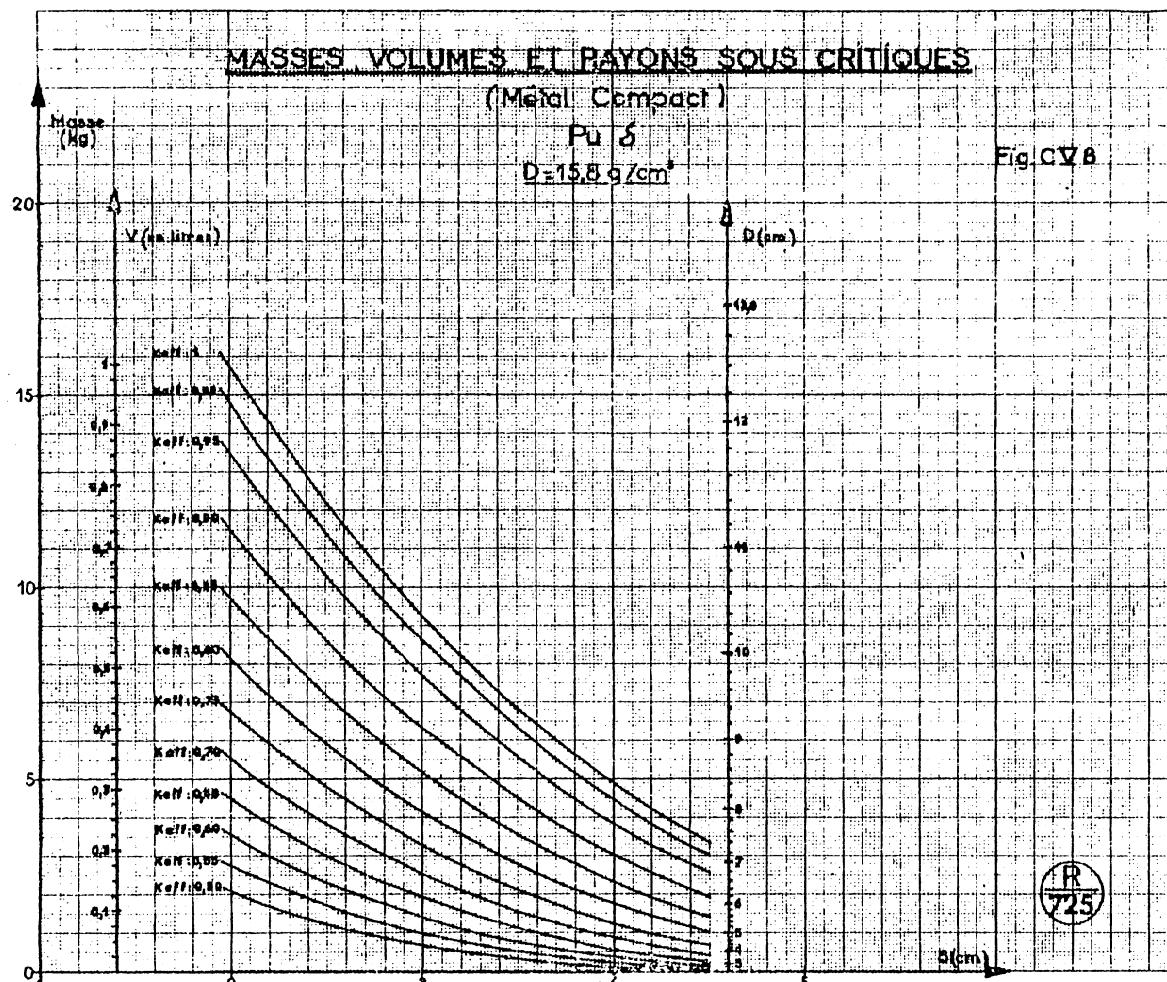


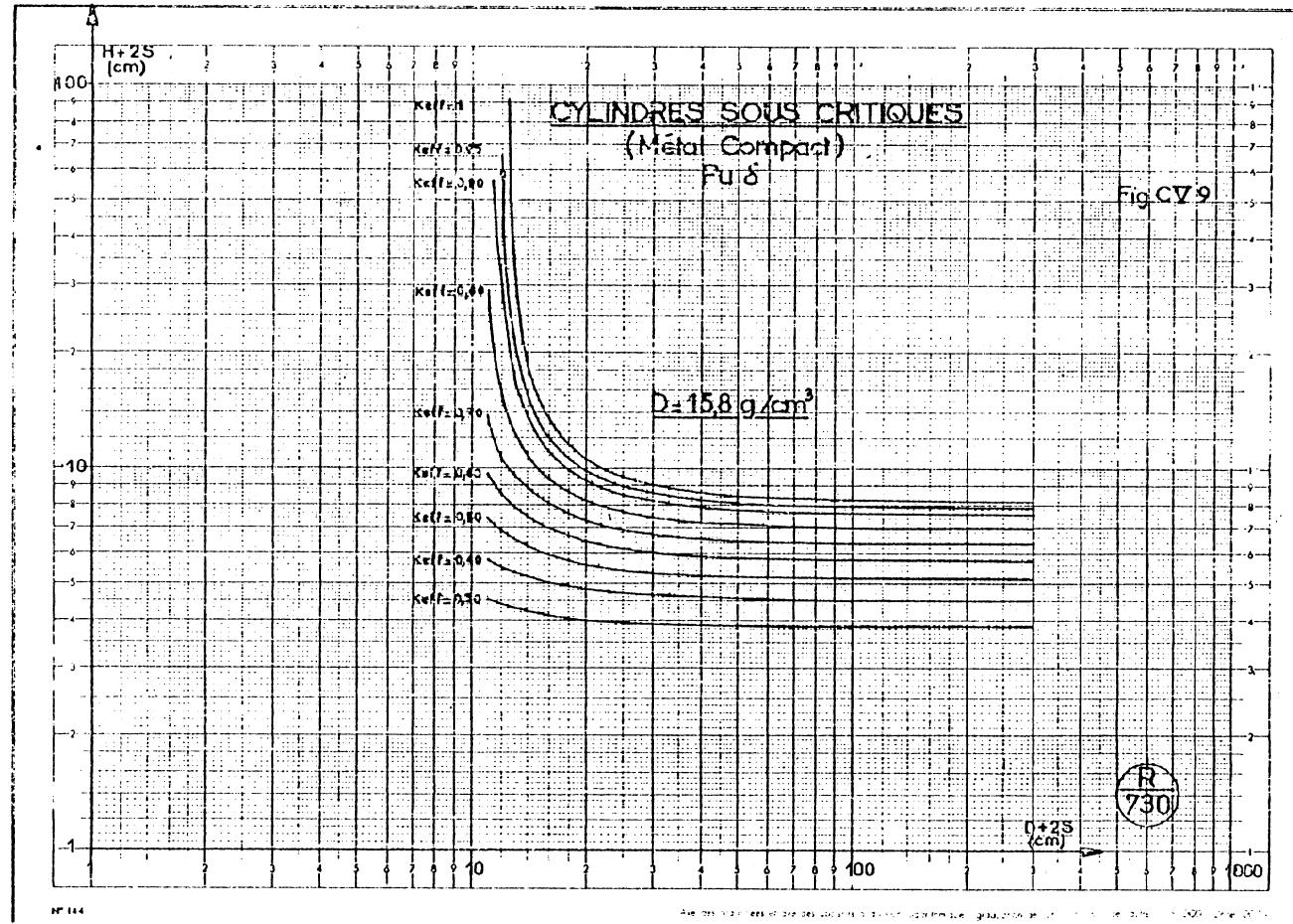


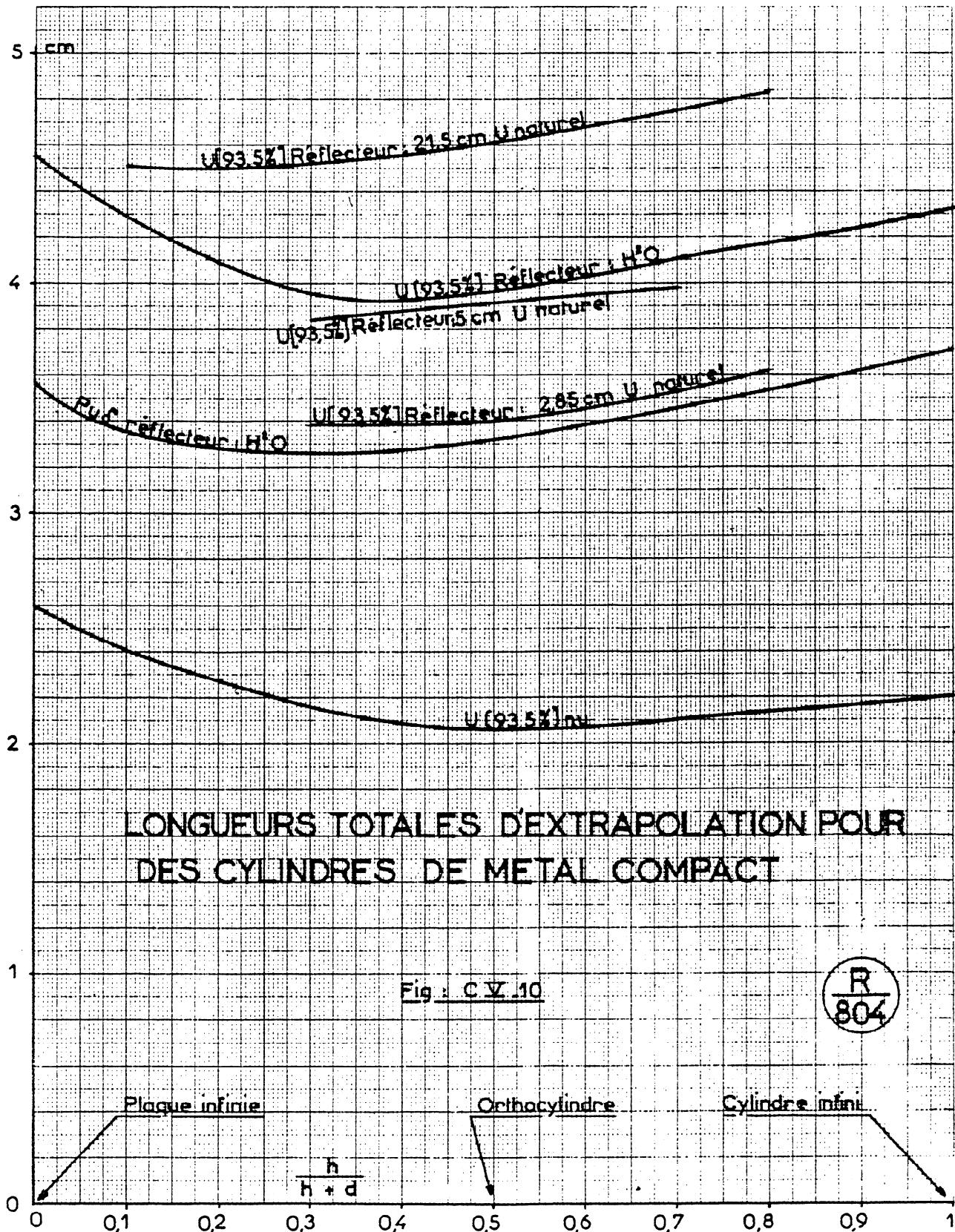






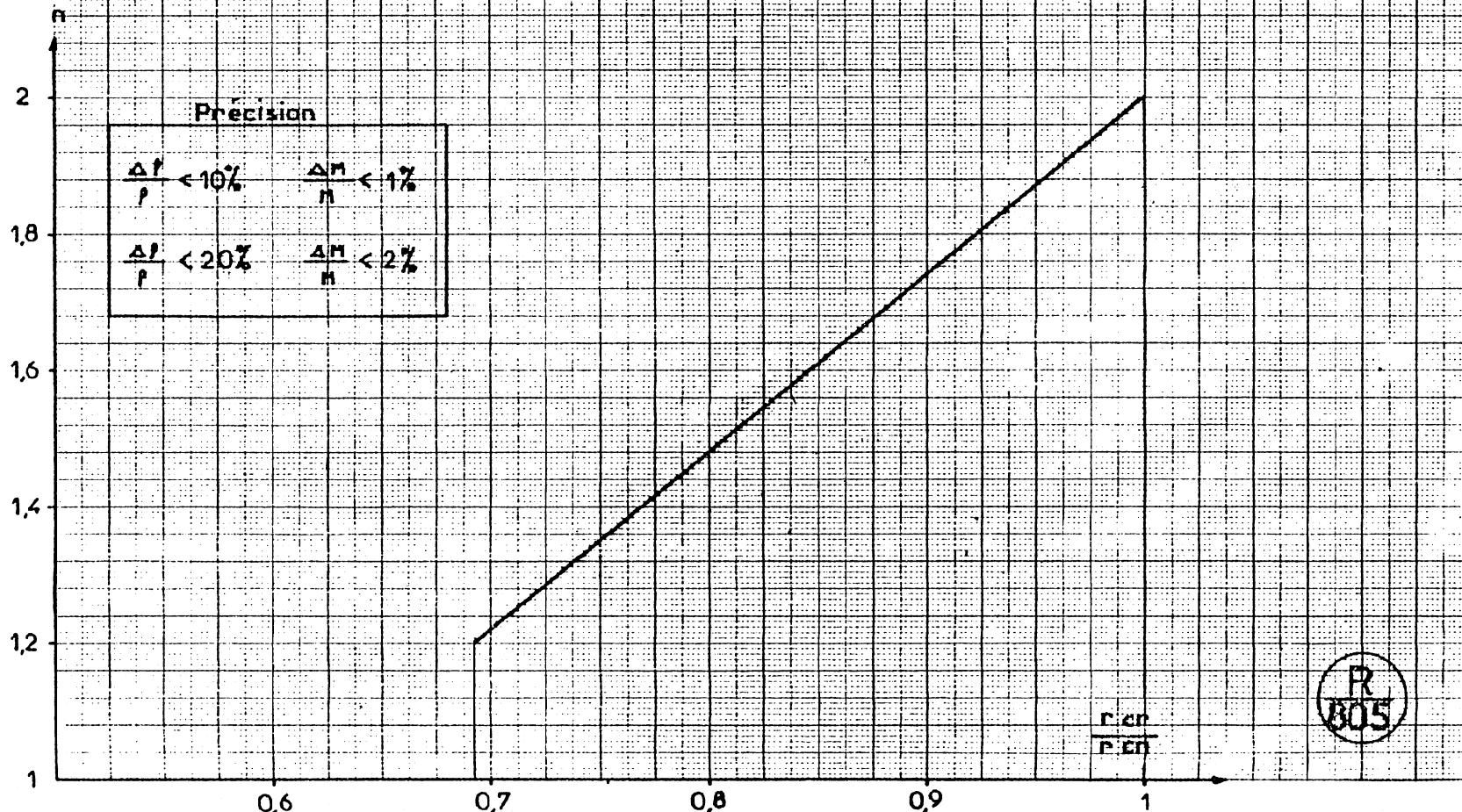




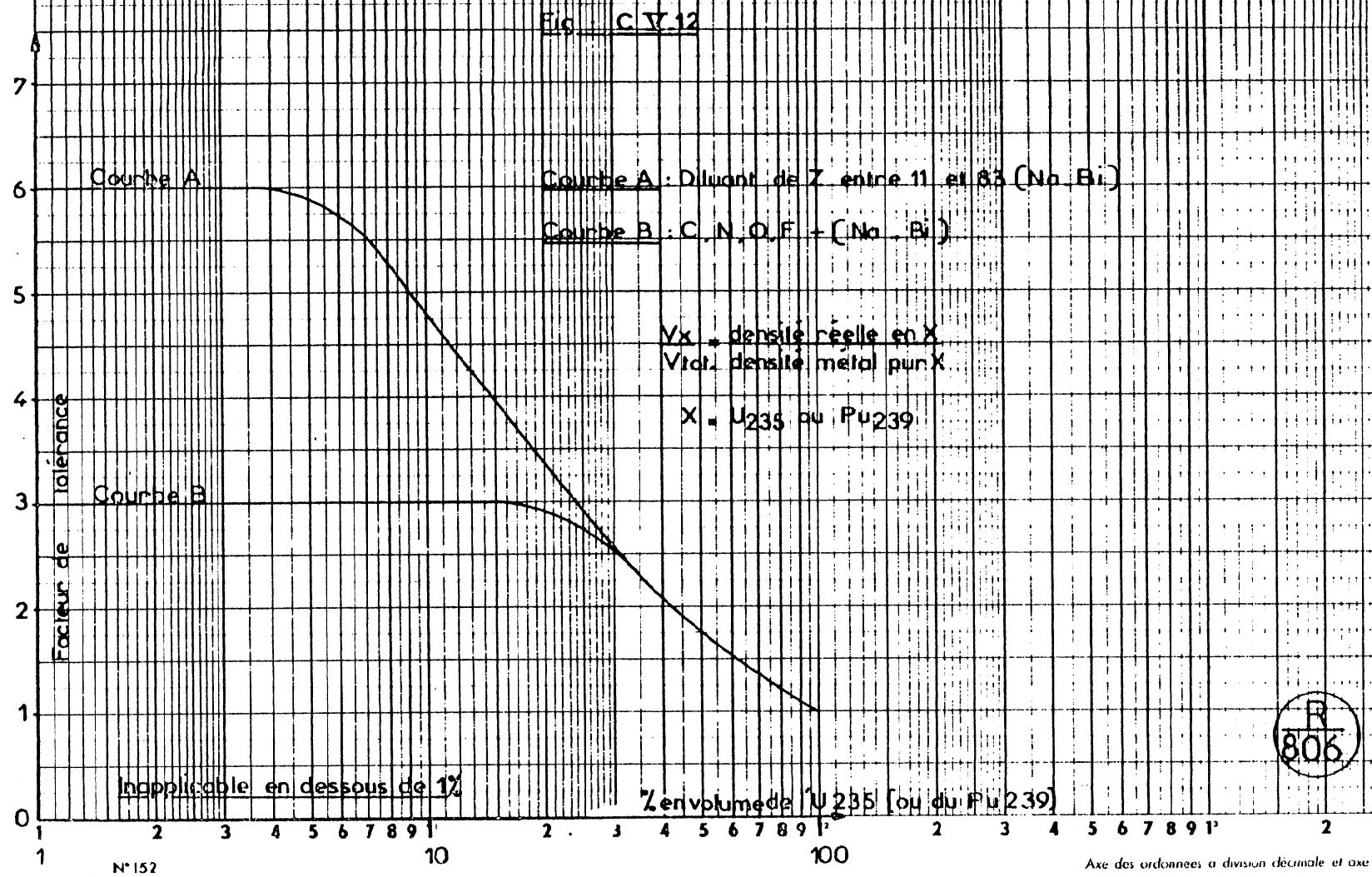


EXPOSANT DE DENSITÉ POUR DES MASSES MÉTALLIQUES

Fig. C.Y.11



FACTEUR DE TOLÉRANCE POUR DES MASSES DE MÉTAL DILUÉ



LONGUEURS TOTALES D'EXTRAPOLATION DE
L'URANIUM METAL

Fig. C.V.13

